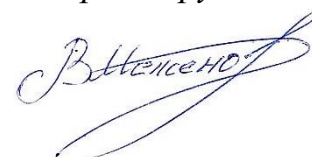


*На правах рукописи*



**Меженов Владимир Алексеевич**

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СТВОЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
С УНИВЕРСАЛЬНЫМИ НАСАДКАМИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ  
МАШИННЫХ ЗАЛОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Специальность: 2.10.1. Пожарная безопасность  
(технические науки)

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»  
на кафедре пожарной техники  
(в составе учебно-научного комплекса пожарной и аварийно-спасательной техники)

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
**Ольховский Иван Александрович**

Официальные оппоненты: **Цариченко Сергей Георгиевич**  
Доктор технических наук  
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», кафедра  
Комплексной безопасности в строительстве,  
профессор

**Носков Сергей Семенович**  
кандидат технических наук, доцент  
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), научно-  
исследовательский центр развития технических  
средств и технологий, начальник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»


Защита состоится «05» марта 2024 г. в «10» ч «00» мин на заседании диссертационного совета 04.2.002.02, созданного на базе Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4.

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

<https://academygps.ru/upload/iblock/5da/xg2oxro5slecfp9g9n02q1jdmnk5pph1/Диссертация%20Меженова%20В.А..pdf>

Автореферат разослан «27» декабря 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук



Соковнин Артем Игоревич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Энергетика является одной из важнейших отраслей экономики Российской Федерации. На объектах энергетики всегда высокие показатели рисков возникновения чрезвычайных ситуаций. С каждым годом риск возникновения чрезвычайной ситуации возрастает из-за ряда причин: высокий коэффициент износа оборудования, несвоевременное выполнение комплекса плановых ремонтных работ, человеческий фактор и другие причины. Особенно важно отметить, что за всю историю статистических наблюдений наибольшее количество аварий и пожаров (около 35 %) случалось в машинных залах электростанций. Крупные пожары на таких станциях, как Белоярская атомная электростанция (далее – АЭС), Чернобыльская АЭС показали, что постоянно требуется совершенствование систем противопожарной защиты машинных залов электростанций для недопущения подобного рода аварий. После случившихся вышеуказанных аварий в Советском Союзе были переработаны нормы по требованиям к системам пожаротушения машинных залов электростанций. В современной России они совершенствовались с учетом модернизации технических средств пожаротушения.

На современном этапе развития средств пожаротушения такое техническое средство подачи огнетушащих веществ (далее – ОТВ), как ствольная пожарная техника, претерпела ряд технических модернизационных изменений (применение универсальных насадков, роботизированное управление и т. д.), которые существенно влияют на процесс тушения пожаров и предотвращение аварий в машинных залах электростанций. Для практического применения современной ствольной пожарной техники как в переносном, так и в стационарном исполнении с разными типами управления (ручное, дистанционное, роботизированное) необходимо разработать технологию ее применения, т. е. обеспечить научным обоснованием решение практической задачи пожаротушения.

**Степень разработанности темы исследования.** Из работ по обеспечению пожарной безопасности на объектах энергетики стоит отметить работы М.В. Алешкова, А.Д. Ищенко, А.А. Колбасина, В.Д. Федяева, Т.И. Чистякова, И.А. Гусева, С.Г. Цариченко, которые занимались исследованиями в области подачи различных видов огнетушащих веществ на оборудование под напряжением, вопросами тактического применения сил и средств, применением пожарной техники в условиях низких температур на объектах энергетики, а также применением роботизированных установок пожаротушения.

Среди работ по исследованию движения огнетушащих веществ в ствольной технике и конструкции универсальных насадков можно выделить труды Ю.И. Горбаня, Е.А. Синельниковой, а также В.А. Варганова. Вопросами исследования истечения жидкости из пожарных стволов и баллистикой струй занимались Н.А. Тарасов-Агалаков и Ю.Г. Абросимов. Значимые достижения в изучении и создании ствольной техники легли работы ученых из Республики

Беларусь: В.В. Пармона, И.В. Карпенчука и Д.А. Шафранского, также данной проблематикой занимались ученые из Соединенных Штатов Америки, в частности, большой вклад в исследование и создание универсальных насадков вложил Клайд Макмиллан.

В целом, до настоящего момента научные исследования в области ствольной пожарной техники опирались на исследования пожарных стволов с насадками конусного типа, следовательно, технология применения ствольной техники на объектах защиты до сих пор основывается на тактико-технических показателях стволов с конусными насадками. Но стоит отметить, что в практике пожаротушения существовали попытки расстановки ствольной пожарной техники с универсальными насадками на объектах защиты, путем подбора эмпирических коэффициентов и адаптирования под технологию расстановки ствольной техники с конусными насадками. Аппроксимационный метод подбора вспомогательных коэффициентов обуславливался тем, что технические показатели универсальных насадков не изучены, в частности в нормативно-технической и научной литературе отсутствуют коэффициенты расхода и гидравлического сопротивления. Данные показатели являются неотъемлемой частью всего гидравлического расчета установок пожаротушения, однако в практике применения на сегодняшний день используют коэффициенты расхода и коэффициенты сопротивления, полученные для конусных насадков, или эмпирически подобранные данные. Научный подход и обоснование вышеуказанных показателей позволит в будущем обеспечить изготовление ствольной пожарной техники с универсальными насадками, которые будут обеспечивать повышенные показатели покрытия горючих поверхностей и интенсивности орошения. Научно обоснованные гидравлические показатели универсальных насадков можно активно внедрять в роботизированные установки пожаротушения машинных залов на базе пожарных лафетных стволов. Исходя из совокупности полученных данных, будет сформирована технология применения ствольной техники с универсальными насадками для тушения пожаров машинных залов.

**Цель работы** – сформировать технологию применения ствольной техники с универсальными насадками в составе роботизированной установки пожаротушения машинных залов электростанций.

**Объект исследования** – процесс тушения пожаров на объектах энергетики.

**Предмет исследования** – параметры и технология применения ствольной техники при тушении пожаров машинных залов электростанций.

Для достижения поставленной цели актуальными научными **задачами** являются:

1. Анализ пожаров на объектах энергетики, с целью оценки эффективности существующих средств противопожарной защиты машинных залов электростанций.

2. Экспериментальное исследование гидродинамических показателей ствольной пожарной техники для обоснования оптимальной конструкции универсального насадка.

3. Разработка модели движения ОТВ в атмосфере после его выхода из универсального насадка для обоснования расстановки ствольной техники.

4. Разработка технологии применения ствольной техники с универсальными насадками и ее интеграция в роботизированные установки пожаротушения машинных залов электростанций.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

– получен коэффициент расхода и коэффициент местного сопротивления для универсальных насадков ствольной пожарной техники;

– получены зависимости по определению расхода ОТВ из ствольной пожарной техники с универсальными насадками;

– получены зависимости для расчета баллистики струи ОТВ из универсальных насадков ствольной пожарной техники.

**Теоретическая значимость работы** обусловлена тем, что получены данные и математические зависимости, позволяющие оценить тактико-технические характеристики стволов с универсальными насадками.

**Практическая значимость** результатов диссертационного исследования:

– разработан стенд для определения гидравлических характеристик ствольной пожарной техники с универсальными насадками;

– разработана технология применения универсальных насадков ствольной пожарной техники для защиты машинных залов электростанций;

– обоснованы требования к конструкции и созданы опытные образцы роботизированных пожарных лафетных стволов с универсальными насадками, интегрированные в разработанную автономно-адаптивную систему управления роботизированной установкой пожаротушения машинных залов электростанций.

Практическая значимость исследования подтверждается натурными испытаниями на полигоне Калининской АЭС роботизированной установки пожаротушения машинных залов электростанций на базе ствольной пожарной техники с универсальными насадками, которые изготовлены с учетом результатов, полученных в диссертационной работе.

**Методология и методы исследования.** В процессе выполнения работы использованы методы теории гидравлики, методы математического моделирования, физического эксперимента, наблюдения, сравнения, определения эмпирической зависимости в результате математической обработки экспериментальных данных, описания и обобщения.

**Положения, выносимые на защиту:**

– анализ пожаров на объектах энергетики и оценка эффективности существующих средств противопожарной защиты машинных залов электростанций;

– методика и результаты исследования гидравлических характеристик универсальных насадков ствольной пожарной техники;

– физические зависимости баллистики струи ОТВ при ее подаче из ствольной пожарной техники с универсальными насадками;

– метод нахождения очага пожара роботизированной установкой пожаротушения машинных залов электростанций.

**Степень достоверности** основных результатов, выводов и рекомендаций диссертации обусловлена применением современных методов и средств исследований. Экспериментальные исследования выполнялись с применением измерительного оборудования, прошедшего поверку в аккредитованной лаборатории Академии ГПС МЧС России.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты работы были доложены на следующих конференциях:

– Всероссийская научно-практическая конференция «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Современные методы и технология предупреждения и профилактика возникновения чрезвычайных ситуаций – 2019» (Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019);

– Международная научно-практическая конференция «Пожарная безопасность: Современные вызовы. Проблемы и пути решения» (Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020);

– VIII Международная научно-практическая конференция «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2022);

– Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2023» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2023).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 5 – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России.

**Личный вклад автора.** Сформулирована цель и задачи научного исследования. Написана программа и методика проведения эксперимента, спроектирован и изготовлен стенд для определения гидравлических характеристик ствольной пожарной техники с универсальными насадками. После проведения эксперименты получены исходные данные для определения коэффициента сопротивления и коэффициента расхода универсальных насадков, осуществлена обработка экспериментальных данных. На основе обработанных экспериментальных данных и полученных зависимостей спроектирована ствольная пожарная техника с универсальными насадками и обоснован алгоритм работы автономно-адаптивной системы управления, роботизированной установки пожаротушения машинных залов электростанций. Экспериментально апробирована работа разработанной автономно-адаптивной системы управления роботизированной установкой пожаротушения машинных залов электростанций, которая базируется на ствольной пожарной техники с разработанными универсальными насадками.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка используемой литературы и приложений. Содержание работы изложено на 169 страницах машинописного текста, включает в себя 14 таблиц, 79 рисунков, список использованной литературы из 109 наименований и 2 приложения.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность и научно-практическая значимость темы диссертационной работы, представлен объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи исследования, описаны научная новизна работы, положения, выносимые на защиту, достоверность полученных экспериментальных и численных данных, апробация работы и её краткое содержание.

**В первой главе** диссертационной работы «Тушение пожаров машинных залов электростанций» проведен анализ статистических показателей пожаров на объектах энергетики. Рассмотрены крупные пожары в машинных залах объектов энергетики и системы их противопожарной защиты.

Анализ пожаров показал, что за период с 2010 года по настоящее время в целом на объектах энергетики прослеживается тенденция к снижению их количества. Однако необходимо отметить, что, несмотря на единичный характер случаев пожаров в машинных залах, именно они приносят колоссальный прямой и косвенный ущерб. Согласно зарубежным оценкам, средний ущерб от пожаров в машинных залах составляет порядка 20 млн евро на энергоблок АЭС, а простой блока до восстановления составляет около 4 месяцев. Такие показатели обусловлены тем, что при пожарах в машинных залах происходит обрушение кровли перекрытия, а её восстановление занимает значительное время.

Вышеизложенное указывает на то, что пожары в машинных залах не удается быстро локализовать и в большинстве случаев это приводит к обрушению кровли. Распространение пожара и его локализация зависят от времени введения в действие и расстановки ствольной пожарной техники. В рассмотренных примерах при тушении крупных пожаров применялись пожарные стволы с насадками конусного типа, тогда как ствольная техника с универсальными насадками более эффективна (по дальности подачи и интенсивности орошения). Кроме того, можно с уверенностью говорить об эффективности применения ствольной пожарной техники (в том числе и роботизированной) для защиты машинных залов при пожаре, а также для обеспечения безопасности сотрудников электростанций в процессе тушения пожара до прибытия подразделений пожарной охраны.

При анализе научных трудов и отчетов эмпирических исследований ствольной пожарной техники с конца XIX века было выявлено, что основополагающим показателем (на который делается акцент при расчёте условий расстановки ствольной пожарной техники) является расход ОТВ. При этом стоит отметить, что в трудах Тарасова-Агалакова Н.А. говорится об определении расходных показателей только для конусных насадков, на истечение ОТВ из которых влияет: форма и площадь поперечного сечения выходного отверстия ( $S$ ), коэффициент местного сопротивления ( $\zeta$ ) и коэффициент сжатия ( $\epsilon$ ).

Расход жидкости конусного насадка определяется как произведение действительной скорости на фактическую площадь сечения выходного отверстия:

$$Q = S \cdot v. \quad (1)$$

Произведение  $\varepsilon$  и  $\varphi$  (коэффициент скорости потока) принято обозначать буквой  $\mu$  и называть коэффициентом расхода, то есть  $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$ .

Тогда расход для конусного насадка может быть определен:

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2gH}, \quad (2)$$

где  $H$  – напор на стволе, м.в.ст.

Однако для стволов с универсальными насадками, которые по своим функциональным возможностям образуют не только сплошную струю, но и формируют разный угол факела распыла струи, зависимость (2) не применима. Существует эмпирически установленная специалистами ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР» (далее – ЭФЭР) зависимость для ствольной техники с универсальными насадками, имеющими дефлектор, которая выглядит следующим образом:

$$Q = k \cdot \pi (R^2 - r^2) (2gH) = 13,9 \cdot k \cdot (R^2 - r^2) \cdot \sqrt{H}, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус корпуса насадка, м;  $r$  – радиус дефлектора, м;  $k$  – конструктивный коэффициент насадка;  $H$  – напор перед насадком, м.в.ст.

Зависимость (3) применима только для продукции ЭФЭР, так как конструктивный коэффициент насадка может быть использован только для их изделий. Также стоит отметить, что данная зависимость аппроксимирована и установлена эмпирически путем многократных испытаний пожарных лафетных стволов (далее – ЛС), выпускаемых ЭФЭР.

Практически на любом крупном пожаре, а особенно при пожарах в машинных залах электростанций, применяются ЛС, как переносные от мобильной пожарной техники, так и стационарные из состава автоматических установок пожаротушения. Нормативные документы, регламентирующие технологию применения ствольной пожарной техники в машинном зале, содержат обширный спектр требований для обеспечения тушения, но самое главное заключается в том, что интенсивность орошения металлоконструкций кровли машинного зала должна составлять не менее  $0,06 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ .

Несмотря на то, что зарубежные и отечественные ЛС с универсальными насадками повсеместно применяются для тушения пожаров, на сегодняшний день компании-производители ствольной пожарной техники и проектировщики не имеют исходных данных для гидравлического расчета трубопроводов системы пожаротушения на базе лафетных стволов, так как отсутствуют коэффициенты местного сопротивления и коэффициенты расхода для стволов с универсальными насадками.

Из-за этого, отсутствует возможность определить интенсивность орошения ОТВ из стволов с универсальными насадками, поэтому определять данный показатель эмпирическим путем. Такая же проблема стоит перед проектными институтами при определении дальности подачи ОТВ из универсальных насадков. От дальности подачи и расхода ОТВ зависят орошаемые площади, от которых, в свою очередь, зависит интенсивность подачи ОТВ.



Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы по первой главе:

– проведенный анализ пожаров в машинных залах электростанций демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению количества пожаров в энергетическом комплексе, начиная с 2010 года. Обзор крупных пожаров в машинных залах позволяет сделать вывод, что зачастую не удаётся локализовать пожар на ранней стадии развития и не допустить обрушения кровли. На распространение и на локализацию пожара влияет вид средства подачи ОТВ;

– наиболее актуально применять для тушения ствольную пожарную технику с универсальными насадками;

– технология применения ствольной пожарной техники основана на технических показателях стволов с конусными насадками, которые отличаются от показателей универсальных насадков, позволяющих формировать разный угол факела распыла струи воды и пены низкой;

– требуется научное обоснование гидравлических параметров универсальных насадков ствольной пожарной техники, с последующими практическими испытаниями и валидацией.

Во **второй главе** диссертационной работы «Исследование универсальных насадков ствольной техники и их влияние на огнетушащую способность» представлены проведенные экспериментальные исследования универсальных насадков ствольной пожарной техники: численное математическое моделирование и аналитические решения по расчету движения ОТВ в универсальном насадке, натурный эксперимент. Для проведения натурального эксперимента был разработан экспериментальный стенд (Рисунок 1) и экспериментальные универсальные насадки с различными геометрическими формами и размерами элементов.

При проведении эксперимента изменялись расстояния между дефлектором и корпусом насадка, то есть изменялась площадь сечения зазора для прохождения потока ОТВ. При этом производились замеры расхода ОТВ и абсолютного давления перед экспериментальным насадком в диапазоне от 0,4 до 1,0 МПа.

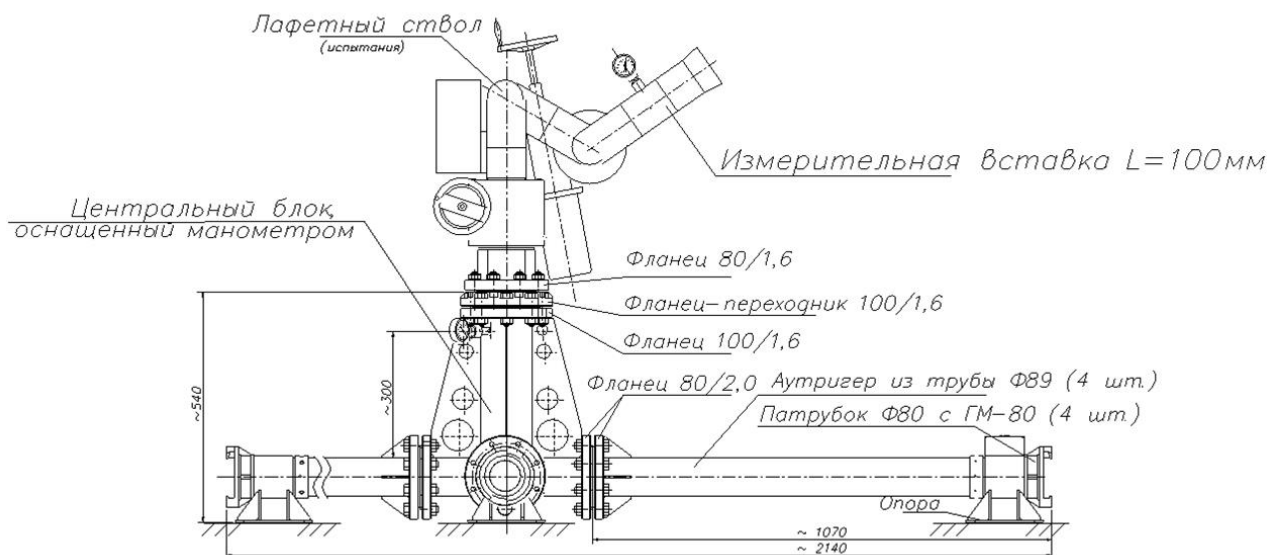


Рисунок 1 – Стенд для определения гидравлических характеристик ствольной техники с универсальными насадками

После обработки результатов эксперимента было установлено, что независимо от давления перед насадком дефлектор снижает расход относительно пропускной части круглого сечения корпуса универсального насадка на 30 % (Рисунок 2).

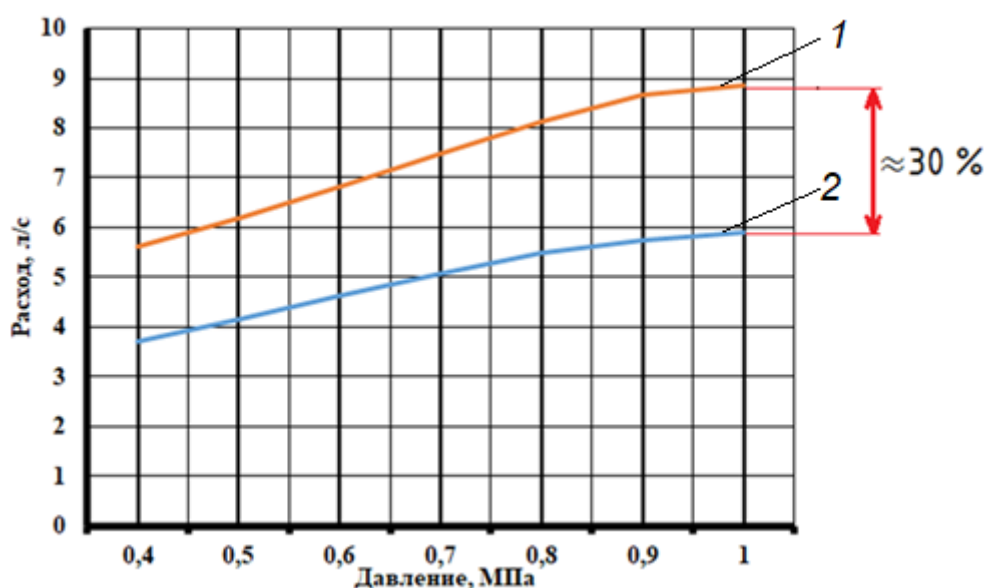


Рисунок 2 – График зависимости расхода от давления экспериментального универсального насадка

1 – без установленного дефлектора; 2 – с установленным дефлектором

После определения процентного занижения расхода ОТВ в универсальном насадке эмпирическим методом была проведена верификация полученных данных на промышленном образце лафетного ствола с универсальным насадком, имеющим расход 20 л/с при давлении 0,8 МПа. Результаты верификации на экспериментальном насадке показали 100 % совпадение с полученными эмпирическим значением.

Кроме того, чтобы подтвердить эмпирические зависимости, в работе было проведено численное моделирование течения ОТВ с целью валидации натуральных показателей и результатов численного моделирования в программном комплексе *ANSYS Fluent* (Рисунок 3).

Для численного моделирования многофазного течения, в данном случае моделирования двухфазного потока «жидкость–газ», необходимо было определить модель турбулентности. Для последующего использования низкорейнольдсовых моделей турбулентности необходимо обеспечить явное разрешение пристеночной области (4). Это обеспечивается выбором параметра  $Y^+$ :

$$Y^+ = \frac{\rho \cdot y \cdot U_\tau}{\mu}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  – динамическая вязкость среды, Па·с;  $U_\tau$  – скорость сдвига, м/с.

Для расчета размера первой ячейки было рассчитано число Рейнольдса:

$$Re_d = \frac{\rho \cdot U_{cp} \cdot d_\Gamma}{\mu}, \quad (5)$$

где  $d_\Gamma$  – гидравлический диаметр проточного канала, м;  $U_{cp}$  – средняя скорость потока ОТВ, м/с.

Сдвиговые напряжения у стенки насадка определяются по формуле:

$$\tau_w = \frac{1}{2} C_f \cdot \rho \cdot U_{cp}^2, \quad (6)$$

где  $C_f$  – коэффициент трения.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$C_f = 0,079 Re_d^{-0,25}. \quad (7)$$

Скорость сдвига определяется по формуле:

$$U_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}, \quad (8)$$

где  $\tau_w$  – напряжение сдвига в произвольном слое среды.

Существующие подходы к численному моделированию турбулентных течений основаны на степени детальности разрешения турбулентных пульсаций и их энергетического спектра. В нашем случае будем использовать RANS-метод (Reynolds-averaged Navier – Stokes equations (RANS)), в котором уравнения Навье – Стокса позволяют получить уравнения переноса для средних значений величин, случайным образом пульсирующих в турбулентном потоке.

В *Ansys Fluent* метод конечных объемов численно решается с помощью системы уравнений Навье – Стокса:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dv_x}{dt} &= \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) \\ \rho \frac{dv_y}{dt} &= \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) \\ \rho \frac{dv_z}{dt} &= \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + \rho g \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где  $\frac{d\vec{v}}{dt}$  – изменения скорости жидкости в точке;  $P$  – давление, Па.

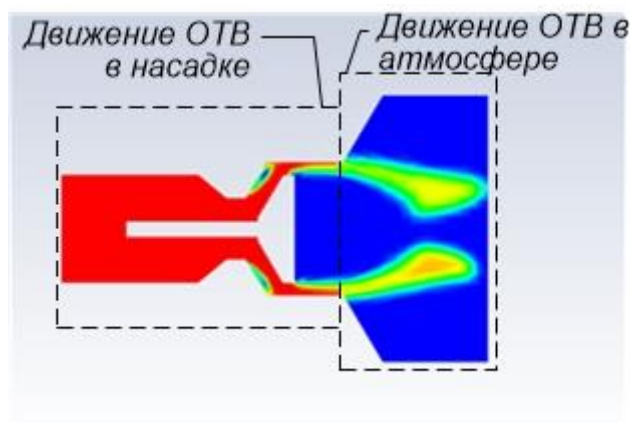


Рисунок 3 – Результаты численного моделирования экспериментального насадка с расходом 20 л/с

Вычисления, основанные на методе конечных объемов, в программном комплексе *ANSYS Fluent*, показали, что при установке дефлектора в универсальный насадок необходимо увеличивать расход проточной части универсального насадка на 31 %. Полученные данные позволяют принять значение установленного коэффициента расхода равным 1,31. С учетом того, что коэффициент расхода для конусных насадков равен 0,82, то коэффициент расхода универсального насадка будет равен:

$$\mu_y = \frac{\mu}{\Pi} = \frac{0,82}{1,31} = 0,63, \quad (10)$$

где  $\Pi$  – установленный коэффициент расхода при установке дефлектора в проточную часть канала универсального насадка.

Принимая во внимание, что коэффициент расхода также возможно определить по зависимости (11), то коэффициент сопротивления ( $\zeta$ ) можно выразить как:

$$\mu_y = \sqrt{\frac{1}{\zeta_y + \alpha}}. \quad (11)$$

После подстановки показателей из зависимости (10) в (11) коэффициент сопротивления ( $\zeta$ ) для универсального насадка будет определяться как:

$$\zeta_y = \frac{1}{\mu_y^2} - \alpha, \quad (12)$$

где  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса (равен 1).

Исходя из изложенного, коэффициент местного сопротивления универсального насадка ствольной пожарной техники будет равен:

$$\zeta_y = \frac{1}{0,63^2} - 1 = 0,597 \approx 0,6.$$

Учитывая полученные коэффициенты, формула определения расхода при истечении ОТВ из универсального насадка будет определяться как:

$$Q = \mu_y \cdot S_k \sqrt{2gH}, \quad (13)$$

где  $\mu_y$  – коэффициент расхода универсального насадка (0,63);  $S_k$  – площадь поперечного сечения проточной части универсального насадка до дефлектора (площадь корпуса насадка), м<sup>2</sup>.

В данной главе также рассмотрен вопрос баллистики струй, так как в предыдущих трудах полученные зависимости показывали, что наибольшую

дальность струя, выходящая из насадка ствола, может иметь при наклоне ствола  $45^\circ$ , тогда как в практически значимом диапазоне расходов ОТВ данный показатель равен  $30^\circ$ . Данные отклонения нивелировали вводом эмпирических поправочных коэффициентов.

Для точной оценки баллистики струи, то есть движения капель ОТВ в воздушном пространстве, требуется физическое обоснование процесса. Для этого необходимо установить начальные граничные условия, в частности, скорость выхода потока из насадка ствола. Для пожарных стволов с конусными насадками данный показатель можно выразить из формулы расхода жидкости из конусного насадка (2).

Однако данное условие не применимо для универсальных насадков, где инверсией струи на выходе является кольцо (Рисунок 4). В связи с чем, в работе была применена формула (14) оценки гидравлического диаметра (эквивалентного)  $D_{\Gamma}$ , то есть меры эффективности отверстия в пропускании потока жидкости.

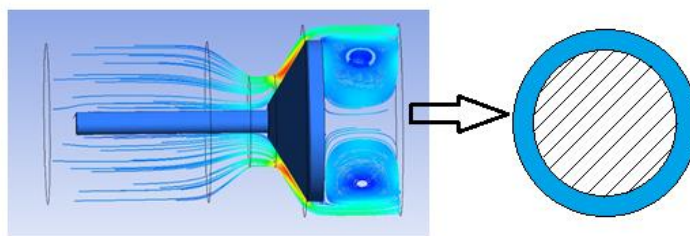


Рисунок 4 – Выходное сечение универсального насадка в виде кольца

$$D_{\Gamma} = \frac{4S}{P} = \frac{4 \cdot 0,25\pi(D^2 - d^2)}{\pi(D + d)} = D - d, \quad (14)$$

где  $S$  – площадь сечения,  $\text{м}^2$ ;  $P$  – периметр сечения, м;  $D$  – внешний диаметр кольцевого зазора, м;  $d$  – внутренний диаметр кольцевого зазора, м.

Учитывая, что струя ОТВ после выхода из насадка имеет предрасположенность к распаду на составляющие (капли), то для каждой капли необходимо просчитывать траекторию движения с учетом сил сопротивления воздуха и силы тяжести. Но так как отследить каждую каплю в потоке невозможно, для этого необходимо высокопроизводительное программное обеспечение и высокоточное оборудование. В связи с тем, что в практике пожаротушения такая точность баллистики не нужна, а по существующим нормативным требованиям оценка дальности подачи ОТВ осуществляется по крайним каплям, в работе принято эмпирическое допущение. Данное допущение заключается в оценке дальности и высоты полета тела, имеющего форму шара с диаметром, равным диаметру выходной части среза ствола для конусного насадка, и равным гидравлическому диаметру – для универсального насадка (Рисунок 4) (14).

При этом на данный шар будет действовать сила сопротивления  $\overline{F_C}$  (15). Принято выделять несколько составляющих для полной силы сопротивления, а именно:

- 1) сопротивление из-за трения среды;
- 2) сопротивление формы;
- 3) волновое сопротивление.

В формуле (15) безразмерный аэродинамический коэффициент сопротивления  $C_x$  зависит от числа Рейнольдса и формы тела. Для реального полета воды в воздухе значение числа  $Re$  колеблется в пределах нескольких сотен тысяч. Экспериментально установлено, что данный коэффициент сопротивления  $C_x$  можно принять как 0,047. Рассчитать силу лобового сопротивления можно по зависимости:

$$\overline{F}_C = C_x \cdot \frac{\rho \cdot \overline{\vartheta}^2 \cdot S}{2}, \quad (15)$$

где  $C_x$  – безразмерный аэродинамический коэффициент сопротивления;  $\vartheta$  – скорость тела, м/с.

Под величиной  $S$  (15) понимается эффективная площадь сопротивления, для сферы или шара это площадь окружности.

Сила тяжести, действующая на тело в полете, определяется следующим уравнением:

$$\overline{F}_T = m \cdot \overline{g}, \quad (16)$$

где  $m$  – масса тела, кг.

При этом по закону Ньютона сумма всех действующих на тело сил определяется как:

$$\Sigma \overline{F} = m \cdot \overline{a}, \quad (17)$$

где  $a$  – ускорение тела, м/с<sup>2</sup>.

Определив начальную скорость потока на выходе из насадка ствола можно рассчитать дальность полета струи с помощью уравнений, описывающих движение тела по траектории, разложив силы на составляющие по осям координат.:

$$\begin{cases} S_x(t) = - \iint \frac{F_{Cx}}{m} \cdot dt^2 \\ S_y(t) = - \iint \frac{(F_{Cx} + F_T)}{m} \cdot dt^2 \end{cases} \quad (18)$$

На основе вычислений (18) были произведены расчеты и построен график в программном продукте *MATLAB*, экспериментальные исследования осуществлялись при тех же начальных условиях. В результате натурных испытаний (Рисунок 5, кривая 1) при тех же начальных условиях установлена, что дальность струи составила 65 м при возвышении 13,5 м, данный показатель находится в пределах 3 % погрешности, что удовлетворяет условиям проектирования при применении ствольной техники на объектах защиты. Кроме этого на небольшое отклонение в результатах мог повлиять ветер, скорость которого на момент испытаний составляла 2 м/с.

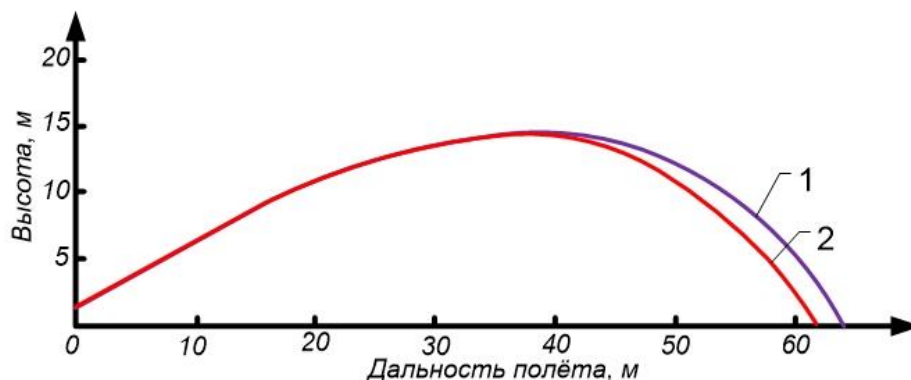


Рисунок 5 – Дальности полета струи при одинаковых граничных условиях:  
1 – расчет; 2 – эксперимент

Полученная модель движения ОТВ в атмосфере (18) полностью коррелируется с натурными показателями (Рисунок 5).

В ходе работы установлено, что при одних и тех же начальных условиях подачи ОТВ (угол подъема ствола к горизонту, расход ОТВ, вид насадка, давление перед насадком) дальность подачи различалась в зависимости от температуры окружающей среды (Рисунок 6). Это обусловлено плотностью воздуха при разной температуре. Результаты наблюдения представлены на рисунке 6.

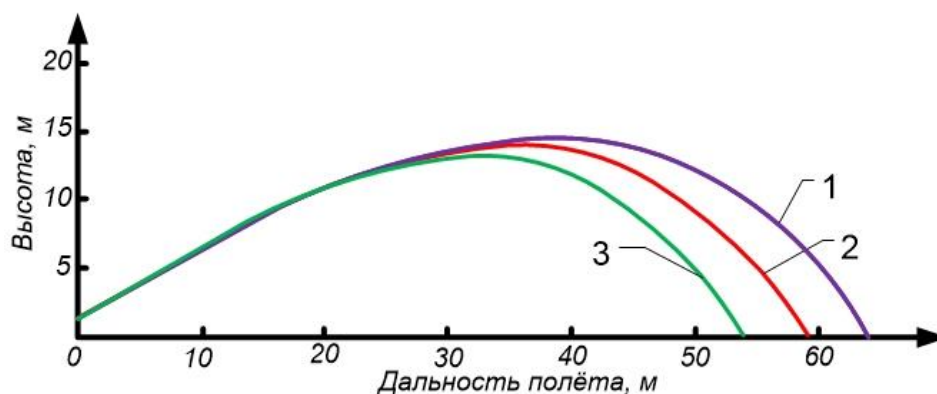


Рисунок 6 – Изменение дальности полета струи в зависимости от плотности воздуха:  
1 –  $\rho = 1,16 \text{ кг/м}^3$  ( $t = +30^\circ\text{C}$ ) (64,1 м); 2 –  $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$  ( $t = 0^\circ\text{C}$ ) (59,4 м);  
3 –  $\rho = 1,16 \text{ кг/м}^3$  ( $t = -30^\circ\text{C}$ ) (54,6 м)

После определения основных гидродинамических показателей ствольной пожарной техники с универсальными насадками и разработки модели движения ОТВ, в диссертационной работе была исследована технология осциллирования ствольной пожарной техникой, то есть осуществления подачи ОТВ по замкнутой траектории без участия человека за счет раскручивания турбины осциллятора потоком ОТВ в подводящем трубопроводе. Для забора максимальной энергии потока ОТВ у гидравлической осевой турбины Каплана (установленной в осцилляторе) оптимальный угол наклона лопастей должен составлять  $45\text{--}60^\circ$  относительно оси вала турбины. При этом мощность осевой турбины будет определяться по формуле:

$$N = 9,81 \cdot \eta \cdot Q \cdot D^2 \cdot H \cdot \sqrt{H}, \quad (19)$$



где  $\eta$  – коэффициент полезного действия турбины (0,9);  $Q$  – расход ОТВ, проходящий через турбину, м<sup>3</sup>/с;  $D$  – диаметр турбины, м.

Для определения мощности турбины необходимо определить частоту вращения вала по формуле:

$$n = n_1 \cdot \frac{\sqrt{H}}{D}, \quad (20)$$

где  $n_1$  – КПД модели турбины по графику главной универсальной характеристики.

При проектировании гидравлических турбин показатель  $n_1$  определяется исходя из графика главной универсальной характеристики. На сегодняшний день данные графики разработаны только для гидравлических турбин, применяемых на ГЭС, для расходов не менее 0,6 м<sup>3</sup>/с. Для меньших расходов значения  $n_1$  отсутствуют, что подтверждает актуальность необходимости научного исследования для установления главной универсальной характеристики с расходами до 0,6 м<sup>3</sup>/с.

В результате разработки турбин осциллятора различной геометрии и проведении серии экспериментов был построен график главной универсальной характеристики турбины осциллирующего устройства в зависимости от расхода и угла наклона лопастей (Рисунок 7).

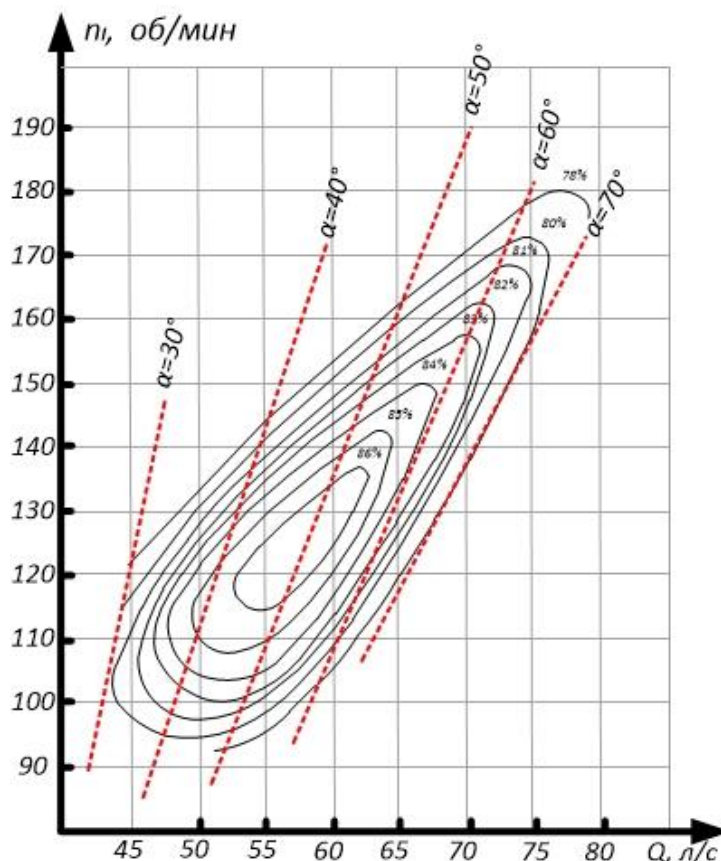


Рисунок 7 – График главной универсальной характеристики осевой турбины осциллирующего устройства

При использовании осциллирующего устройства перед ствольной пожарной техникой необходимо учитывать величину силы обратной реакции струи, значение которой должно быть таким, чтобы создаваемый крутящий



момент на трубопроводе лафетного ствола был меньше, чем крутящий момент, создаваемый осциллирующим устройством во всем диапазоне вращения.

Чтобы найти силу обратной реакции струи, необходимо использовать второй закон Ньютона, который может иметь вид как изменение импульса во времени:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}, \quad (21)$$

где  $\Delta p$  – изменение импульса потока ОТВ, кг·м/с;  $t$  – время, с.

При установившемся истечении ОТВ из насадка у потока стабилизируется скорость, отсюда следует:

$$F = \frac{V \cdot \Delta m}{\Delta t}, \quad (22)$$

где  $\Delta m$  – изменение массы ОТВ, кг.

Изменение массы во времени можно представить как массовый расход  $G = \frac{\Delta m}{\Delta t}$ . Переведя его в объемный получим силу реакции струи, равную:

$$F = \rho \cdot Q \cdot V. \quad (23)$$

С помощью установленной аналитическим способом зависимости (23) можно определить силу обратной реакции струи, возникающей при истечении ОТВ из насадка ствола.

При исследовании технологии осциллирования установлено, что струя ОТВ при движении имеет изгибающуюся форму (Рисунок 8), а дальность подачи ОТВ увеличивается, относительно стационарной подачи ОТВ без осциллятора.



Рисунок 8 – Подаваемая струя при работе осциллирующего устройства с лафетным стволом

В данном случае полет капли струи ОТВ является сложным движением точки, то есть движением, при котором точка (в данном случае капля) движется относительно двух систем отсчета – подвижной (ось ствола от привода осциллирующего устройства) и неподвижной (поверхность орошения). Исходя из этого можно выделить три вида движения: относительное – движение капли ОТВ относительно подвижной оси ствола; переносное – движение оси ствола

относительно поверхности орошения (земли); абсолютное – суммарное движение в пространстве.

При сложном движении капли в пространстве ее абсолютная скорость в любой момент времени геометрически складывается из относительной и переносной скоростей:

$$\bar{V}_{\text{абс}} = \bar{V}_0 + \bar{V}_{\text{п}}, \quad (24)$$

где  $\bar{V}_{\text{абс}}$  – абсолютная скорость, м/с;  $\bar{V}_0$  – относительная скорость, м/с;  $\bar{V}_{\text{п}}$  – переносная скорость, м/с;

Переносная скорость будет определяться исходя из значений частоты оборотов оси ствола:

$$\bar{V}_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \nu, \quad (25)$$

где  $L$  – дальность подачи ОТВ, м;  $\nu$  – частота оборотов осциллирующего устройства, об/с.

Так как векторы  $\bar{V}_0$  и  $\bar{V}_{\text{п}}$  находятся под углом 90 градусов относительно друг друга, то их сумма, абсолютная скорость ( $\bar{V}_{\text{абс}}$ ), будет равна:

$$\bar{V}_{\text{абс}} = \sqrt{\bar{V}_0^2 + \bar{V}_{\text{п}}^2}. \quad (26)$$

Этим и объясняется увеличенная дальность подачи ОТВ при работе ствола с осциллирующим устройством. (Рисунок 9).

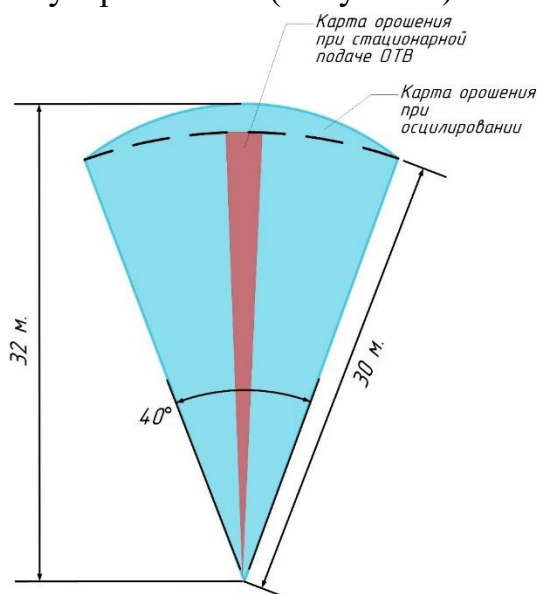


Рисунок 9 – Сравнительная карта орошения ОТВ пожарного ствола, имеющего расход 5 л/с при стационарной подаче и работе с осциллирующим устройством

Проведенные исследования показали, что ОТВ при выходе из универсального насадка обладает более высокими показателями интенсивности орошения и равномерностью распределения осадков по площади, по сравнению с конусными насадками. Данные показатели очень важны при тушении пожаров машинных залов.

Научно-обоснованная технология осциллирования позволит повысить качество и эффективность орошения ОТВ, при этом участие человека не является необходимым, то есть исключается опасность для персонала при пожарах в машинных залах электростанций.

Полученную физическую зависимость баллистики струи ОТВ (18) возможно использовать при расстановке лафетных стволов на объектах защиты, а также в роботизированных установках пожаротушения для точного попадания струи ОТВ в очаг пожара.

В **третьей главе** диссертационной работы «Технология применения ствольной техники при защите машинных залов атомных электростанций» представлены разработанные с учетом результатов проведенных исследований образцы ствольной пожарной техники с универсальными насадками и обоснована технология их интеграции в состав роботизированных установок пожаротушения.

Производители роботизированных лафетных столов с извещателями пламени используют различные подходы к определению координат очага пожара и подачи в него ОТВ. Наиболее частый подход – зональное определение координат очага в пространстве объекта защиты и подача ОТВ в данную зону. Такая подача ОТВ приводит к излишним проливам в зоне очага пожара, а в некоторых случаях может усугубить обстановку на пожаре. Вследствие этого повышается вероятность увеличения прямого и косвенного ущерба от тушения для защищаемого объекта. Данный подход выбирается производителями в связи с невозможностью определить расстояние до очага пожара с помощью современных извещателей пламени: они могут лишь дать сигнал о наличии ИК- или УФ-излучения пламени.

Исходя из этого, в работе предложена методика по точному определению координат очага возгорания роботизированным лафетным стволом.

Данная методика позволит сформировать автономно-адаптивную систему пожаротушения машинных залов электростанций (Рисунок 10).

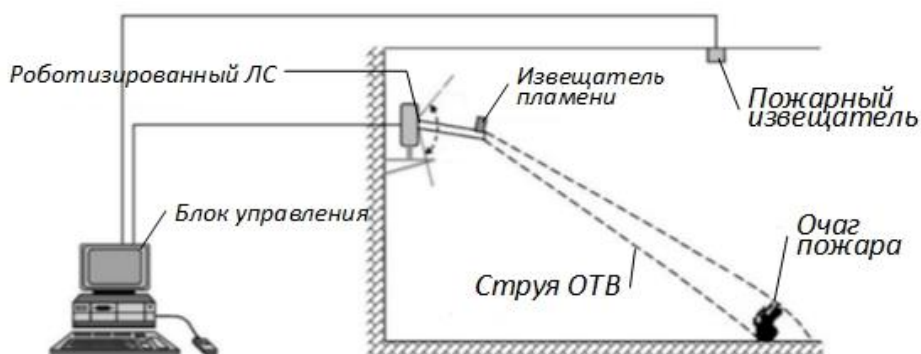


Рисунок 10 – Принципиальная схема работы автономно-адаптивной системы

Для более точного исследования возможности реализации автономно-адаптивной системы на базе ствольной пожарной техники были разработаны и созданы образцы роботизированных пожарных лафетных стволов с установленными на них извещателями пламени.

Первоначально были проведены испытания по нахождению пламени извещателем, установленном на стволе без подачи ОТВ. Испытания проводились по методикам ГОСТ Р 50898–96 «Извещатели пожарные. Огневые испытания». При испытаниях был использован модельный очаг ТП-5, в

качестве горючего вещества использовались 650 г смеси гептана (97 % объема) и толуола (3 % объема) (Рисунок 11).



Рисунок 11 – Испытания роботизированного пожарного лафетного ствола с извещателем пламени

Проведенные испытания показали, что дальность действия извещателя пламени составляет 50 м. Исходя из этого для более точного местонахождения очага пожара роботизированными ЛС с извещателем пламени был разработан и реализован метод триангуляции. Суть метода заключается в создании сети опорных точек и построении на основании этих точек треугольников, у которых определяются все углы и длины необходимых сторон (Рисунок 12).

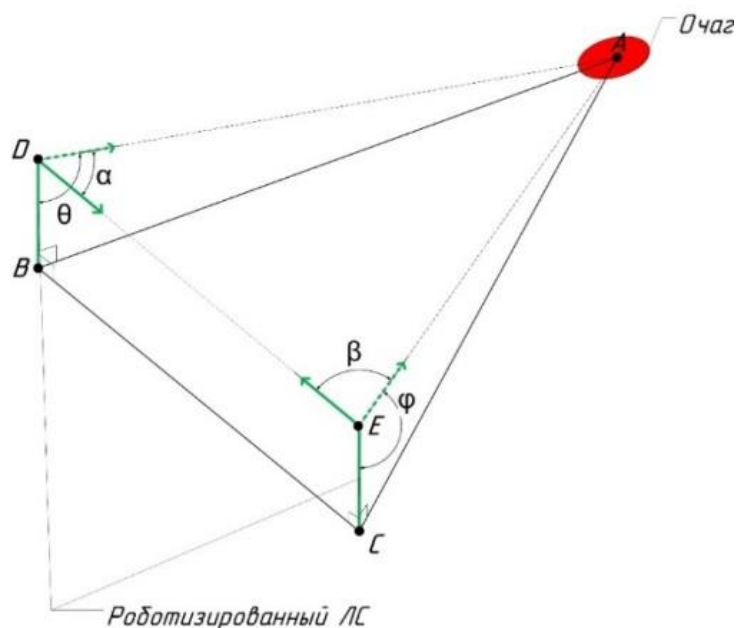


Рисунок 12 – Триангуляция при расстановке двух роботизированных ЛС и очага

После начала поиска очага пожара извещателями пламени, роботизированные ЛС датчики позиционируются при обнаружении очага, образуя углы  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$  и  $\varphi$  (Рисунок 12) между вертикальной осью ЛС и осью направления насадки ЛС. Известны расстояния между осями вертикальными осями ЛС ( $DE=BC$ ), и расстояния  $BD$  и  $CE$  (исходные данные). Исходя из этого, по теореме синусов взаимоотношение сторон и углов в сформированном треугольнике  $ADE$  будет следующим:

$$\frac{AE}{\sin\alpha} = \frac{AD}{\sin\beta} = \frac{DE}{\sin(180^\circ - (\alpha + \beta))}. \quad (27)$$

По теореме синусов можно определить стороны АЕ и АД. Далее, используя тригонометрические функции и теорему Пифагора, можно определить значение остальных сторон и углы, в том числе и искомые АВ и АС. После нахождения расстояния до очага можно по зависимости (18) рассчитать баллистику струи ОТВ.

Данный метод был интегрирован в алгоритм работы автономно-адаптивной системы. Испытания произведены на крупном очаге 233В, который имеет круглую форму диаметром 3000 мм и высоту борта 200 мм (Рисунок 13). Для проведения испытаний очаг был заполнен 466 л воды и 233 л бензина АИ-92.

После получения внешнего сигнала о пожаре автономно-адаптивная система осуществила запуск 4-х роботизированных ЛС, которые начали сканировать защищаемую территорию. ЛС определили очаг пожара, был передан сигнал в блок управления и ЛС подтвердили координаты очага пожара. Далее ЛС позиционировались для подачи ОТВ и передали сигнал на задвижку питающего трубопровода. Струи ОТВ были поданы в очаг пожара и потушили его. Была проведена серия из 10 экспериментов. Значение времени, затрачиваемого на определение координат очага и его тушение, находилось в диапазоне 2 мин. 20 с – 2 мин. 30 с.

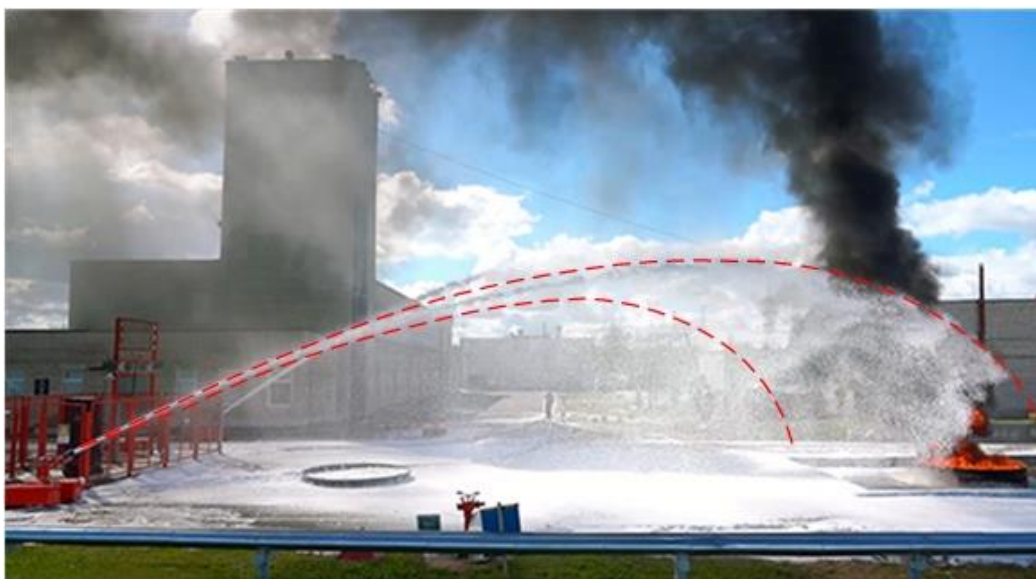


Рисунок 13 – Испытания автономно-адаптивной системы тушения машинных залов

Результаты проведенных испытаний позволяют утверждать, что концептуально закладываемые характеристики автономно-адаптивной системы управления роботизированной установкой пожаротушения работоспособны и могут быть использованы на объектах защиты, в том числе и в машинных залах электростанций. Разработанная автономно-адаптивная система показала свою работоспособность и практическую значимость, подкрепленную научными изысканиями. Сформированные струи из универсальных насадков в практике применения подтвердили расчетные показатели. Данная система при внедрении



в противопожарную защиту машинных залов обеспечит автономное реагирование на возгорание и до прибытия подразделений пожарной охраны не только понизит интенсивность горения ЛВЖ и ГЖ, но и может локализовать и ликвидировать пожар. Это позволит обеспечить безопасность людей, снизит прямой и косвенный ущерб от пожаров в машинных залах электростанций.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Анализ статистических данных и характерных примеров пожаров на объектах энергетики свидетельствует о том, что в большинстве случаев первоочередное применение систем противопожарной защиты приходится на ствольную пожарную технику. При этом технология применения ствольной пожарной техники на сегодняшний день основывается на гидравлических значениях и показателях ствольной пожарной техники с конусными насадками, тогда как ствольная пожарная техника с универсальными насадками имеет существенное преимущество в физических показателях подачи огнетушащих веществ при тушении пожаров.

2. В диссертационной работе проведены исследования универсальных насадков ствольной пожарной техники и получены их гидродинамические показатели для проведения расчетов противопожарного водоснабжения, использующего ствольную пожарную технику с универсальными насадками. На основе полученных показателей разработана технология применения ствольной пожарной техники для защиты машинных залов электростанций.

3. Разработана модель движения огнетушащих веществ в атмосфере после выхода из универсального насадка ствольной пожарной техники, получены физические зависимости для осциллирующих устройств ствольной пожарной техники, а также зависимости по определению силы обратной реакции струи в универсальных насадках ствольной пожарной техники.

4. На основе научных изысканий разработан и реализован метод определения координат очага пожара роботизированной установкой пожаротушения машинных залов, состоящей из пожарных лафетных стволов с универсальными насадками и разработана автономно-адаптивная система управления роботизированной установкой пожаротушения, состоящей из ствольной пожарной техники с универсальными насадками.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях из перечня ВАК:**

1. Меженов, В.А. Методика расчёта конструкции универсальных водопенных насадков для тушения пожаров объектов нефтегазовой отрасли [Текст] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2020. – № 4. – С. 18–26. DOI:10.25257/FE.2020.2.18-26

2. Меженов, В.А. Применение вычислительной гидрогазодинамики при конструировании пожарных стволов [Текст] / И.А. Ольховский, М.М. Данилов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2020. – № 3. – С. 69–76. DOI:10.25257/FE.2020.3.69-76

3. Меженов, В.А. Баллистика струй из универсальных насадков ствольной пожарной техники [Текст] / И.А. Ольховский, А.Н. Лебедев,

К.П. Щетнёв // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – № 3. – С. 37–43. DOI:10.25257/FE.2021.3.37-43

4. Меженов, В.А. Оценка интенсивности орошения для пожарных лафетных стволов [Текст] / И.А. Ольховский, К.П. Щетнев, Е.Н. Косьянова // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2023. – № 1. – С. 22–29. DOI:10.25257/FE.2023.1.22-29

5. Меженов, В.А. Способ определения кратности пены при подаче из воздушно-пенных и лафетных стволов с пенными насадками [Текст] / И.А. Ольховский, А.Н. Фещенко, С.С. Скворцов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 4. – С. 57–61. DOI:10.25257/FE.2019.4.57-61

#### **Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:**

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа «Баллистика струи ствольной пожарной техники» для оценки / В.А. Меженов, М.А. Грохотов, И.А. Ольховский заявители и правообладатели / В.А. Меженов, М.А. Грохотов, И.А. Ольховский № 2022665388; заявление 11.08.2022; регистрация 25.08.2022.

#### **Публикации в других изданиях:**

7. Меженов, В.А. Обоснование параметров воздушно-пенного насадка для ствольной пожарной техники [Текст] / И.А. Ольховский // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации. Том Часть 2». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 103–107.

8. Меженов, В.А. Пожарная ствольная техника с осциллирующим устройством [Текст] / И.А. Ольховский // Материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2021». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 51–55.

9. Меженов, В.А. Автономно-адаптивная система обеспечения пожарной безопасности объектов защиты [Текст] / И.А. Ольховский // Материалы V международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 126–128.

10. Меженов, В.А. Проектирование пожарного лафетного ствола с переменным расходом в концептуальном исполнении «ствол в стволе» [Текст] / И.А. Ольховский, К.П. Щетнев, Е.Н. Косьянова // Материалы XII всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов». – Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия МЧС России, 2021. – С. 295–299.

11. Меженов, В.А. Истечение огнетушащих веществ и образование струй из ствольной техники с универсальным насадком [Текст] / И.А. Ольховский // Материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2020». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 12–19.

12. Меженов, В.А. Формирование технологии расстановки универсальных лафетных стволов на объекте защиты [Текст] / И.А. Ольховский, А.Е. Захаров // Материалы международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения» – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020. – С. 95–97.

13. Меженов, В.А. Влияние длины пенного насадка на эффективность получения огнетушащей пены низкой кратности [Текст] / Е.И. Хиль // Материалы юбилейного X форума «Школа молодых учёных и специалистов МЧС России». – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020. – С. 87–89.

14. Меженов, В.А. Автономно-адаптивная система пожаротушения для объектов защиты северного морского пути [Текст] / И.А. Ольховский, А.Е. Захаров // Материалы международной научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в арктическом регионе» – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020. – С. 177–180.

15. Меженов, В.А. Разработка методики оценки площади орошения и интенсивности подачи огнетушащих веществ пожарными лафетными стволами [Текст] / И.А. Ольховский // Материалы международной научно-практической конференции «Системы безопасности – 2020». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 206–211.

16. Меженов, В.А. Предложения по формированию положения о проведении соревнований стационарных роботизированных установок пожаротушения [Текст] / И.А. Ольховский, И.А. Гусев // Материалы I Международной научно-практической конференции по развитию робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности. – М.: – ВНИИ ГОЧС(ФЦ) МЧС России, 2021. – С. 44-50.

17. Меженов, В.А. Искусственный интеллект в борьбе с огнем [Текст] / И.А. Ольховский, И.А. Гусев // Гражданская защита. – 2021. – № 5 (549). – С. 17-19.

18. Меженов, В.А. Испытания многофункционального комплекса противопожарной защиты машинных залов калининской атомной электростанции [Текст] / И.А. Ольховский, О.В. Двоенко // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 427-431.

19. Меженов, В.А. Современные средства подачи огнетушащих веществ для тушения пожаров на объектах энергетики [Текст] / И.А. Ольховский, Захаров А.Е., Передня Д.А., Косьянова Е.Н. Материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 121-124.

Подписано в печать 22.12.2023 Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №515

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