

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»

На правах рукописи



ГАНЕЕВ РУСЛАН АЛЬБЕРТОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ
УСТРОЙСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ**

Специальность 2.10.1. – Пожарная безопасность (технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Хафизов Ильдар Фанилевич
доктор технических наук, профессор

Уфа 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ОБЗОР ПРОБЛЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	9
1.1 Обзор мест возникновения пожаров.....	9
1.2 Сравнительный анализ приборов пожаротушения.....	12
1.3 Сравнение тактики тушения пожаров и используемых пожарных стволов в разных странах.....	19
1.4 Проблемы конструкции современного пожарного оборудования	27
1.5 Изучение вихрей.....	28
Выводы по главе 1.....	30
ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ И ЛАМИНАРНЫХ ПОТОКОВ.....	31
2.1 Исследование нарезного ствола	31
2.2 Турбулентность и ламинарность в приборах пожаротушения	32
2.3 Воздействие способа течения жидкости в трубах на гидравлические потери.....	35
2.4 Математическая модель движения вихревых потоков жидкости.....	36
Выводы по главе 2.....	40
ГЛАВА 3 Практическая проработка вихревых потоков.....	41
3.1 Исследование опытных образцов приборов пожаротушения	41
3.2 Корпус пожарного ствола.....	46
3.3 Влияние качества пожарного ствола на подачу огнетушащего вещества....	47
3.4 Исследование основных характеристик при изменении шага закручивающего устройства.....	48
3.5 Исследование основных характеристик при изменении количества витков закручивающего устройства.....	59
Выводы по главе 3.....	81
ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ	82
Выводы по главе 4.....	93

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	94
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ №1.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ №2.....	105
ПРИЛОЖЕНИЕ №3.....	106

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Предприятия нефтеперерабатывающей промышленности всегда были объектами повышенной пожарной опасности, а процесс тушения горючих и легковоспламеняющихся жидкостей относится к наиболее сложным.

Современные быстроразвивающиеся предприятия нефтеперерабатывающей промышленности оказывают двоякое влияние на пожарную безопасность. Конструктивно – новое технологическое оборудование, увеличивающее их надежность в работе, глобальная автоматизация производственной деятельности, использование модернизированных автоматических установок пожаротушения в значительной степени снижают возможность распространения пожаров. Однако, рост развития производственных мощностей сопровождается ростом производительности нефтеперерабатывающих, добывающих и транспортирующих предприятий, плотностью застройки и уменьшением расстояний между ними. На современном этапе развития средств тушения, когда угроза атак беспилотных летательных аппаратов на объекты топливно-энергетического комплекса постоянно растет, возникают сложности с доставкой огнетушащих веществ в заданную точку, а у участников тушения пожара возникают трудности подойти на близкое расстояние, в связи с воздействиями высоких температур и существованием угроз повторных атак.

В связи с этим разработка новых и эффективных технических средств тушения пожаров является весьма актуальной задачей.

Степень разработанности выбранной темы

В отечественных, а также зарубежных периодических научных изданиях и монографиях представлены публикации, которые затрагивают вопросы исследования и выявления параметров, влияющих на повышение эффективности устройств пожаротушения и увеличение дальности подачи огнетушащих веществ. Этой проблеме посвящены работы таких ученых и исследователей, как:

П.В. Крысов, С.Л. Ефремов, А.Р. Пышный, С.Г. Сахацкий, А.Г. Осипов, А.В. Подгрушный, Ю.Н. Горнов и ряда других авторов.

Несмотря на достижения вышеуказанных авторов, остается недостаточно изученной возможность использования вихревых потоков в пожарных стволах, создаваемых с помощью закручивающих устройств. Рассмотрение данного вопроса является актуальным, решение его позволит увеличить дальность подачи огнетушащего вещества.

Цель работы

Повышение эффективности тушения пожаров на значительно удаленном расстоянии от очага пожара с помощью модернизированных пожарных стволов, способствующих возникновению вихревых потоков.

Задачи исследований:

1. Провести анализ существующих пожарных стволов, состоящих на вооружении пожарных подразделений.
2. Сформировать критерий, позволяющий оценить количественное изменение скорости потока жидкости в пожарном стволе.
3. Исследовать вихревые потоки с помощью опытных образцов, полученных в результате моделирования.
4. Определить параметры шага закручивающего устройства для получения максимальных числовых значений скорости движения жидкости.

Объект исследования: устройства пожаротушения для создания вихревых потоков.

Предмет исследования: механизм создания вихревых потоков жидкости при тушении пожаров.

Научная новизна

1. Предложено и научно обосновано влияние вихревых потоков на скорость движения жидкости, которые приводят к увеличению дальности подачи огнетушащего вещества.

2. Впервые разработана математическая модель, позволяющая оценить количественное изменение скорости потока жидкости в пожарном стволе в зависимости от шага закручивающего устройств и его радиуса.

Теоретическая значимость заключается в установлении:

1. Общих закономерностей влияния вихревых потоков на изменение скорости и давления движущейся жидкости в устройствах пожаротушения.
2. Обоснования числовых показателей изменения скорости и давления жидкости, на которые влияют шаг и диаметр закручивающего устройства.
3. Функциональных возможностей приборов пожаротушения с использованием вихревых потоков.

Практическая значимость работы заключается в разработке расчетно-экспериментальных методов определения способа решения задачи по повышению эффективности огнетушащего вещества на нужды пожаротушения за счет увеличения дальности его подачи. Применение предложенного способа позволяет увеличить дальность подачи огнетушащего вещества. Разработанный в ходе выполнения диссертационного исследования способ определения оптимальных параметров шага закручивающего устройства может являться эффективным инструментом для получения максимальных числовых значений скорости движения жидкости. Результаты диссертационной работы нашли свое применение при осуществлении учебного процесса на кафедре «Пожарная и промышленная безопасность» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» при выполнении студентами лабораторных работ по дисциплине «Пожарно-строевая подготовка», «Пожарная и аварийно-спасательная техника», «Пожарная, аварийно-спасательная техника и базовые машины» по направлению подготовки 20.03.01 – «Техносферная безопасность», а также 20.05.01 – «Пожарная безопасность», прошли апробацию и испытания в сочетании с уже имеющимися на вооружении пожарными стволами в филиале «Башкирия» ООО «РН-Пожарная безопасность» и ГКУ Противопожарная служба РБ, организациями проявлен практический интерес в исследованиях по

повышению эффективности тушения пожаров на значительно удаленном расстоянии от очага пожара.

Методология и методы исследований

Достоверность проведенных исследований обеспечивается использованием известных современных программных комплексов проектирования и обработки полученных результатов. Моделирование потоков жидкостей выполнено в программном комплексе Solidworks. Методология выполнения работы заключалась в поэтапном проведении исследований, включающих анализ накопленных знаний в области тактики тушения пожаров. При решении задач использовались устройства для создания вихревых потоков, аналитические и численные методы решения задач. В ходе исследований осуществлялся поиск закономерностей изменения скорости и давления потоков жидкости в зависимости от шага закручивающего устройства и его диаметра. Для достижения цели и решения поставленных задач использовались такие методы исследования как обобщение, поиск закономерностей, позволяющих повысить эффективность работы современных пожарных стволов.

Положения, выносимые на защиту

1. Обоснование влияния вихревых потоков на повышение эффективности тушения пожаров.
2. Обоснование критерия, позволяющего определить количественную оценку изменения скорости потока в зависимости от шага закручивающего устройства и его радиуса.
3. Результаты экспериментальных исследований по совершенствованию пожарных стволов за счёт создания в них вихревых потоков огнетушащих веществ, подаваемых в очаг пожара.

Степень достоверности и апробация результатов

Основные положения, результаты теоретических и экспериментальных исследований, выводы и рекомендации работы докладывались на: 69-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (г. Уфа, 2018 г.); научных мероприятиях в рамках Дней науки

«Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации» с международным участием в Уральском институте Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. (г. Екатеринбург, 2021 г.); 73-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (г. Уфа, 2022 г.).

Соответствие диссертации паспорту специальности

Тема работы и содержание исследований соответствуют пункту 20 области исследований, определяемой паспортом специальности 2.10.1. – «Пожарная безопасность (технические науки)»: «п. 20. Исследование, разработка, создание и эксплуатация мобильных средств и оборудования, предназначенных для тушения пожаров и ликвидации последствий аварий и взрывов на объектах защиты и прилегающих территориях».

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе, 4 в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 82 наименования. Работа изложена на 106 страницах машинописного текста, содержит 14 таблиц и 39 рисунков.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ПРОБЛЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

1.1 Обзор мест возникновения пожаров

Во всем мире основную часть всех чрезвычайных происшествий неизменно составляют пожары. Пожарно-техническое вооружение, находящееся на вооружении подразделений пожарной охраны, перестает отвечать современным требованиям к средствам тушения пожаров. Обзор статистики пожаров позволяет осуществлять анализ действий личного состава подразделений пожарной охраны при ликвидации пожаров, правильность выбора способов тушения, используемое ПТВ и другое. На основании анализа осуществляется корректировка тактики тушения пожаров и штатная численность пожарных подразделений в России.

Статистика пожаров по видам объектов нефтегазовой отрасли различного назначения представляет собой следующие показатели (Рисунок 1):

- объекты хранения нефти – 48,3 %;
- объекты нефтепереработки – 27,7 %;
- объекты добычи – 14 %;
- объекты транспортировки нефти – 10 %.

Анализ статистических данных произошедших по всему миру пожаров, говорит о том, что самыми распространенными причинами пожаров являются:

- умышленные действия, самовозгорания пирофорных отложений – 42,2 %;
- ремонтные и огневые – 23,5 %;
- искры электроустановок – 14,7 %;
- статическое электричество – 9,7 %;
- электрические разряды природного характера - 9,9 %.

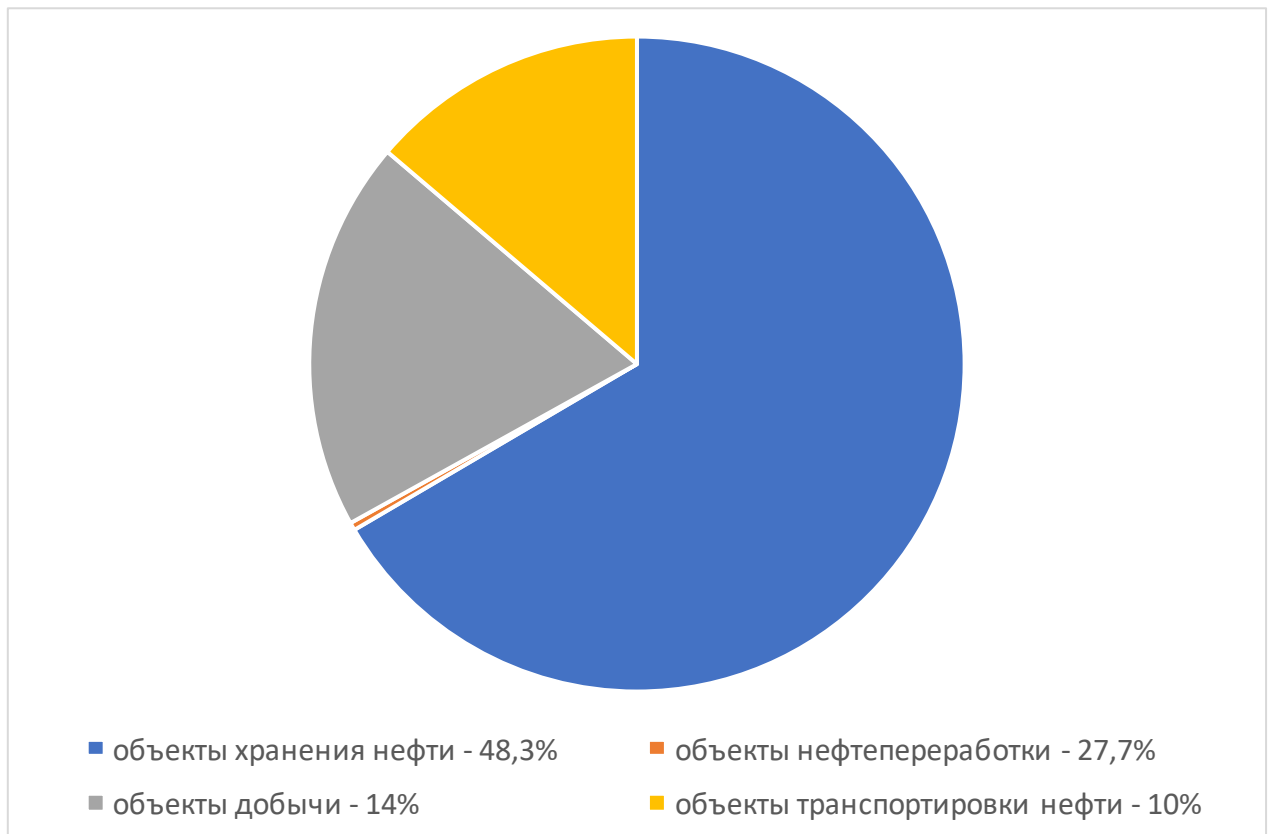


Рисунок 1 – Статистика пожаров по видам объектов различного назначения

Данные факты свидетельствуют о том, что основными причинами пожаров является человеческий фактор. Исследование многочисленных пожаров последних лет показывает, что основная доля произошла в результате халатности человека. Природные факторы редко становятся причинами пожаров.

Статистика по всему миру показывает, что ежегодно в Австралии, в странах Азии, Европы и Америки регистрируется порядка 3 миллионов пожаров. Количество погибших от огня, дыма и других опасных факторов пожара превышает 22 тысячи человек. К сожалению, основная гибель людей приходится на пожары на транспорте (в поездах), а также в зданиях и сооружениях, что составляет около 89 % от общего числа пожаров:

- в России, Белоруссии и Украине отмечается самое большое количество человеческих жертв;

- самое большое число пожаров регистрируется в Соединенных Штатах Америки;

- наибольшее количество лесных пожаров в России и США, ущерб от которых составляет до 1 % ВВП.

Причинами тяжелых последствий от пожаров в зданиях и сооружениях является:

- большая пожарная нагрузка в домах, заключающаяся в наличии бытовой техники, мебели, горючих отделочных материалов, при горении которых выделяется большое количество отравляющих веществ и т.д.;

- трудности обеспечения контроля за пожарной безопасностью жилого сектора;

- повышенная концентрация людей в зданиях повышенной этажности, наличие больных людей с ограниченными возможностями в передвижении;

- высокая скорость распространения пожара на верхние этажи.

Статистические данные по пожарам в различных странах позволяют отслеживать эффективность принимаемых мер.

За официальной статистикой МЧС России скрываются трагедии людей.

Огненная стихия наносит большой ущерб экономике, интересам общества и государства.

В процессе тушения пожара используются различного рода огнетушащие вещества: для ликвидации горения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей применяют воздушно-механическую пену либо порошок. Для ликвидации горения электроустановок под напряжением применяются не только углекислый газ, но и порошковые составы. Не смотря на вышесказанное, самым доступным и дешевым средством пожаротушения является вода, которая, в свою очередь, считается наиболее универсальным и доступным в использовании. При ликвидации практически всех пожаров применяется вода, например при охлаждении строительных конструкций, защиты путей эвакуации во время пожара и т.д. Соответственно во многом на эффективность тушения пожаров влияют устройства пожаротушения.

Пожарные стволы предназначены для производства компактных и распыляемых потоков, а также пены и порошка.

Ручные пожарные стволы предназначены для создания и направления компактной, распыляемой струи воды, подачи порошковых составов и воздушно-механической пены.

В работе рассмотрены проблемы турбулентности жидкостных потоков в пожарных стволах, влияющие на эффективность тушения пожаров. Основной задачей при решении данных вопросов является повышение максимальной эффективности имеющихся на вооружении пожарных стволов. С каждым днем увеличивается пожарная нагрузка используемых строительных материалов при строительстве и отделке производственно-бытовых, административных и жилых помещений. Горение сопровождается выделением большого количества отравляющих веществ, с концентрацией, превышающей предельно-допустимые значения, при этом резко увеличивается воздействие опасных факторов пожара на людей, которые находятся в этих зонах, а также участников тушения пожаров. Это указывает на необходимость совершенствования уже имеющихся пожарных стволов, находящихся на вооружении пожарных подразделений всех видов и специфик объектов защиты. Максимальная универсализация и повышенная эффективность пожарных стволов позволит решить большее количество поставленных задач при тушении пожаров, тем самым снизить количество привлекаемых сил и средств, увеличивающуюся нагрузку на участников тушения пожара, а также уменьшить временные показатели локализации и ликвидации пожаров.

1.2 Сравнительный анализ приборов пожаротушения

Пожарные подразделения в подавляющем большинстве используют два типа ручных стволов: перекрывной «Б» и не перекрывной «А» [1].

Перекрывной ствол «Б» или, согласно заводской отметке, ствол РСК-50 - предназначен для обеспечения компактной и распыленной струи воды, а также для перекрывания потока воды.

Чаще всего такие стволы используются при тушении пожаров в квартирах, подвалах, помещениях, характеризующихся небольшой площадью, а также комнатах, характеризующихся сложной геометрической формой. Возможность отключения подачи воды, непосредственно в стволе, позволяет звену ГДЗС маневрировать в замкнутом пространстве, менять положение ствола, а работа РСК-50 с относительно легким рычагом (диаметром 51 мм) требует меньших усилий. Конечно, не только РСК-50 можно отнести к перекрывным стволам. Сегодня предлагается широкий спектр заводов-производителей пожарных стволов, выпускающие такие стволы как РСКЗ-70, РСП-70(50), СРК-50, а также более современные TSPR-E GR2 и РСКУ-50А и т.д.

Неперекрывные стволы РС-70, обозначаемые буквой «А», предназначены для создания компактных струй воды, обладающих большей мощностью для ликвидации горения с большой интенсивностью.

По большому счету, РС-70 является усовершенствованным пожарным стволом 19 века. Пластиковые сменные насадки увеличенного диаметра можно использовать при тушении таких объектов как: производственные цеха, залы кинотеатров и театров, за счёт большого расхода воды (7,4 л/с) [2].

Характеристики пожарных стволов РСК-50 и РС-70, созданных в 80-х годах прошлого века, на сегодняшний день уже не в полной мере отвечают предъявляемым требованиям, несмотря на это, они успешно выполняют различные задачи, с которыми сталкиваются участники тушения пожаров при ликвидации пожаров. В начале 21-го века разработаны более усовершенствованные стволы ОРТ-50 и ОРТ-50А [3], применение которых значительно повысило тактические возможности современных ручных пожарных стволов. Данное пожарное оборудование приобрело повышенные функциональные возможности. Их многофункциональность достигается в результате совмещения в одном и том же оборудовании свойств приборов

пожаротушения, указанных выше и насадок к ним, так называемых турбин, обладающих возможностью распылять струи воды и пены. Их принято обозначать аббревиатурами «Ц» (центральная струя), а также «П» (периферийная).

Стволы типа «ОРТ» могут решать следующие задачи:

- создание дополнительной защиты ствольщику от теплового потока путем создания водяной занавесы;
- возможность использования как перекрывного ствола;
- генерирование и создание ламинарной или прерывисто-распыленной струи воды, а также их комбинирование;
- генерирование и создание воздушно-механической пены низкой кратности.

Преимуществами данных ручных стволов являются:

- достижение полной защищенности ствольщика от воздействия тепловых потоков за счет создания «водяных экранов», позволяющая не прекращать работу потоков огнетушащих веществ, направленных на тушение пожара;
- достижение максимального качества распыленности воды;
- возможность создания различных комбинаций потоков жидкости и управление различными параметрами конфигурации распыления, исходя из той или иной необходимости на пожаре;
- обладает большей площадью тушения, чем у ствола РСК-50;
- возможность подачи пены низкой кратности, при подключении пенных генераторов;
- создание тонкораспыленной струи водного потока.

Перед разработчиками пожарной техники стоят одинаковые задачи:

- универсализация пожарных стволов;
- повышение дальности подачи и глубины тушения;
- увеличение диаметра распыленной струи;
- способность ствольщиком регулировать расход огнетушащего вещества на позиции.

На российском рынке стали появляться новые ручные стволы от зарубежных производителей, которые являются лучшими с точки зрения конструктивной реализации. В России также ведется работа по созданию своих моделей. К ним относится серия пожарных стволов, введенных в эксплуатацию многих пожарных подразделений инженерными центрами: так называемый «Автомат пожарного» РСКУ-50А-АП имеющий возможность при изменении напора автоматически регулировать расход, РСКУ-50Аэ с возможностью эжектирования пенообразователя из ранцевой емкости для ликвидации пожаров водой и пеной, РСКУ-50А – универсальный ручной комбинированный ствол способен регулировать расход, а так же менять геометрию потока, существует усеченная модель этого ствола РСКУ-50.

Как правило, у стволов РСКУ рабочий промежуток давлений составляет от 0,3 до 0,8 МПа и расход при этом составляет 2-10 л/с. Они обладают возможностью ручного и автоматического регулирования расхода, изменения формы струи: от прямонаправленной струи до защитного экрана с углом распыления 120°. Стволы имеют возможность формирования пены низкой кратности и являются перекрывными.

Пожарный ствол обладает повышенной дальностью подачи огнетушащего вещества за счет внутренней части конструкции. Увеличенная дальность достигается при подаче сплошной водяной струи 40 м при давлении 0,4 МПа и расходе 8 л/с, распыленной струе (при угле 40°) – 20 м и более, пенной струи – более 30 м.

Стволы обладают такими качествами как: легкостью, надежностью, простотой в работе, а также сочетают в себе воздушно-пенный ствол и стволы типа А и В. Реализуемые возможности этих стволов на много шире, чем у таких как РСП-50, РСК-50, РСП-70, РСКЗ-70, ОРТ, СВП. При этом они объединяют возможность сочетания в одном устройстве функции вышеуказанных стволов. Позволяют менять расход огнетушащих веществ, получить пену низкой кратности без использования сменных или дополнительных насадков к стволу, а также обладают возможностью формирования различных форм струй

огнетушащих веществ, изменяемой геометрией и достижения повышенной дальности [4].

Немаловажной функцией стволов является режим промывки (без отключения от пожарного рукава) на случай его засорения.

Буквально в недавнем прошлом созданы такие ручные пожарные стволы, которые обладают способностью работать в разных режимах, в зависимости от той или иной ситуации на пожаре. Могут осуществлять переход от большого расхода к маленькому, а также имеют возможность прочистки струей воды, позволяющей повысить эффективность работы и предотвращающей выход из строя из-за засоров грязью, галькой и мусором, находящегося в воде.

Одним из примеров современных модернизированных ручных пожарных стволов с похожими характеристиками можно считать ИТС-50 и КУРС-8.

На вооружении подразделений пожарной охраны продолжительное время находятся проверенные временем и положительно зарекомендовавшие себя ручные стволы типа «А» и «Б». При всей их надежности, они обладают некоторыми недостатками, которые влияют на тактические возможности. У стволов РС-70(50), РСК-50 и т.п., отсутствует ручка для его надежного удержания, что, в свою очередь, снижает маневренность ствольщика и точность подачи струи огнетушащего вещества в очаг пожара. У стволов «А» отсутствует возможность перекрытия воды, а у стволов «Б» некачественно образуются распыленные струи.

Основным недостатком традиционных ручных пожарных стволов, считается фиксированный расход воды, на который влияет его неизменяемый диаметр насадка.

К примеру, у ствола «Б», диаметр сменяемого насадка соответствует 13 мм, расход воды которого, при рабочем давлении, равен 3,7 л/с. Самый простой пожарный ствол, который можно себе представить считается РС-70. Ствол обладает дополнительными возможностями для подачи воды при использовании наворачиваемого насадка диаметром 19 мм и составляет 7,4 л/с, а при снятом -

13,6 л/с. Насадок ствола РС-70 возможно свернуть только до начала подачи воды, поэтому, изменить расход вовремя работы не представляется возможным.

Все перечисленные недостатки в современных образцах пожарного оборудования частично устранены и объединяют характеристики стволов РС и РСК, и даже превосходят их.

Модернизированные экземпляры отечественных пожарных стволов КУРС-8, ИТС-50 и РСКУ-50 с условным внутренним диаметром 50 мм, совмещают возможности стволов типа «А» и «Б», поскольку обладают возможностью регулирования расхода от 2,5 до 8 л/с. Вышеуказанные возможности позволяют ствольщику в большом промежутке расходов, без замены самого пожарного ствола, ликвидировать пожар в кратчайшие сроки.

На вооружении пожарных подразделений есть и большие модели ручных пожарных стволов (ИТС-70, РСКУ-70) с массой, достигающей 3 кг, и длиной 35 см, которые приближаются по своим функциональным возможностям к лафетным стволам [3]. Если у лафетного ствола ЛС-П20У максимальный расход по воде составляет 20 л/с, то у ствола ИТС-70 эти показатели составляют 15 л/с. В то же время, масса лафетных стволов значительно превышает массу ручных стволов.

Современные пожарные стволы обладают не только преимуществами, но и недостатками. Например, привычные нам ручные и лафетные пожарные стволы просты в использовании, они по праву считаются надежными, одним из главных преимуществ является их ремонтпригодность, что делает их дешевыми и доступными в обслуживании. Ручной ствол РС-70 состоит из конусообразной, с одной стороны зауженной трубы, во внутреннюю часть которой встроен так называемый успокоитель. Сломать такие конструкции стволов практически невозможно. В стволах РСК-50 в качестве запорной арматуры используется шаровой кран, который показал себя не с лучшей стороны.

В населенных пунктах тушение пожаров производится водой, которая берется в основном из загрязненных водоисточников, например с илистым дном, в то же время вода, забираемая из противопожарного водоснабжения, содержит неимоверное количество различного рода загрязнений. Пожарным

подразделениям приходится использовать такую воду при тушении пожаров, при этом используемые современные стволы очень быстро теряют свою работоспособность.

Возможность создания компактной и распыленной струи при низких температурах с помощью современных пожарных стволов намного ниже, чем у старых образцов. К примеру, работоспособность РСК-50 в два и более раз превышает КУРС-8, прежде чем выйдет из строя в результате замерзания. Если рассматривать ствол РС-70, то на протяжении всего этапа тушения пожара он вообще не прекратит свою работоспособность в сильные морозы. Современные модернизированные ручные пожарные стволы устроены таким образом, что становятся капризными в процессе эксплуатации. Технически усложненный переключательный механизм забивается грязью ещё в начале работы, что сказывается на работе ствольщика и подвергает его опасности из-за повышенной чувствительности к температурным режимам эксплуатации ниже минус 10 °С, а также хрупкости сложных узлов конструкции модернизированных ручных пожарных стволов. На территории России есть такие климатические районы, в которых температура опускается ниже минус 30 °С, и в этих условиях приходится осуществлять тушение пожаров. При этом замерзают даже стволы РСК-50 [5], поэтому в этих условиях рекомендуется применять в работе неперекрывные пожарные стволы, например РС-70. Если невозможно обойтись без применения перекрывных стволов, то необходимо не перекрывать их до конца, при этом исключением не является кратковременное отключение подачи огнетушащих веществ.

Вместе с расширенными тактическими возможностями и улучшенными характеристиками, модернизированные пожарные стволы приобрели сложную конструкцию, большое количество узлов и агрегатов, вследствие чего частые поломки, сопровождающиеся сложностями с запасными частями.

Отличительной чертой и сильной стороной старых пожарных стволов, применительно к современным пожарным стволам является их конструктивная простота, позволяющая стволам РСК-50 безотказно работать десятилетиями. Срок

эксплуатации пожарных стволов РС-70, до сих пор находящихся в боевом расчете, может превышать 30 лет.

Применение усовершенствованных стволов при тушении различного рода пожаров продемонстрировало их преимущество перед ручными стволами старых образцов и определенно положительным образом зарекомендовало себя. Боевые расчеты пожарной охраны зачастую привлекаются на тушение мусора, листвы, мусоропроводов, бесхозных строений, сухой травы и т.д. При ликвидации таких пожаров пожарные все равно предпочитают использовать такие проверенные временем стволы как РСК-50.

Современные универсальные пожарные стволы с регулируемым расходом обладают рядом преимуществ с точки зрения тактико-технических характеристик, по сравнению с обычными стволами, но абсолютная надежность, простота обслуживания и дешевизна не позволяют полностью отказаться от обычных стволов «А» и «Б».

Основным огнетушащим веществом при тушении пожаров является вода. А основные источники для забора воды - открытые естественные и искусственные водоемы, реки, водопроводные сети. Использование подобного рода водоисточников приводит к засорению современных, универсальных пожарных стволов грязью и галькой. Данный факт может негативно отразиться на работе звена ГДЗС в непригодной для дыхания среде и ограниченном пространстве.

1.3 Сравнение тактики тушения пожаров и используемых пожарных стволов в разных странах

Анализ способов тушения пожаров в разных странах позволяет объективно сравнивать образцы пожарно-технического вооружения, так как характеристики пожарного оборудования прямо зависят от способов прекращения горения. Для решения данных вопросов необходимо рассмотреть тактику тушения пожаров, используемых в Германии, Америке, Англии и России [6].

Тактика тушения пожара, применяемая в Германии, представляет собой проведение действий по определению местоположения пожара и его тушению в основном, как можно ближе к месту очага, при этом должен обеспечиваться максимальный расход огнетушащих веществ, независимо от этапа развития пожара. Это определяет необходимость борьбы с опасными факторами пожара, для оперативного обеспечения которой требуются самые современные средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения при тушении пожаров, а также большое количество мероприятий по обеспечению защиты участников тушения от воздействия высоких температур. Ярким примером решения проблемы, является расширение тактических возможностей пожарных подразделений с помощью современного пожарного оборудования [7].

В целях достижения максимального эффекта тушения необходимо:

- увеличение штатной численности личного состава отделений на пожарных автомобилях, расширение спектра выполняемых ими работ;
- гибкая подготовка пожарных и руководящего состава;
- укомплектование отделений на пожарных автомобилях дополнительным механизированным, электрическим и гидравлическим аварийно-спасательным инструментом и оборудованием, специальными защитными средствами.

Ручной пожарный ствол AWG – «Turbo Twist» в полной мере можно назвать примером расширенных функций боевого расчета с помощью современного универсального оборудования [8].

Пожарный ствол Turbo Twist оснащен пружинным автоматическим затвором, за счет этого можно использовать различные насадки, например насадок для образования огнетушащей пены низкой кратности при использовании сжатого воздуха для вогнутой струи, насадка для контейнера, насадок-штык, насадок образующий плоскую струю и полную, насадок для создания плосконаправленной струи, и т.д.

Ствол Turbo Twist представляет собой универсальный прибор подачи огнетушащих веществ на тушение пожара, способный обеспечить широкий спектр задач при тушении пожара, при этом позволяет исключить прокладки

дополнительных рукавных линий. Практически все работы можно осуществлять при помощи одних и тех же рукавов. При всем при этом, выбор насадка ствола необходимо производить непосредственно у пожарного автомобиля, при выборе огнетушащего вещества.

В Соединенных Штатах Америки используется своя собственная тактика тушения пожара, которая обусловлена особым образом жизни городов. Основной задачей при тушении пожара является доставка большого количества огнетушащих веществ в очаг пожара с больших расстояний, например, использование соседних зданий, либо подъем пожарных стволов на высоту и т.д.

Американская пожарная охрана стала прародителем стволов - мониторов, с большой производительностью (более 200 л/с). Выбор такой тактики связан со следующими факторами:

- большая вероятность оказаться в зоне обрушения из-за узости улиц по отношению к высоте зданий, а, следовательно, и высокая опасность вести работы внутри зданий;

- в США распространено строительство зданий из металлического каркаса, при этом металл является также связующим звеном, в таких условиях необходима специальная огнезащитная обработка. Сегодня начали больше применяться железобетонные и другие огнестойкие материалы, однако такие решения полностью не могут исключить выгорание зданий и их последующее разрушение [9].

Хорошо развитая система страхования способствует быстрому восстановлению уничтоженного пожаром имущества, и в то же время не создает пожарным подразделениям преград для использования привычной тактики, заключающаяся в обеспечении большого расхода огнетушащего вещества на тушение горящего здания с наружной части. Огнеборцы Европы предпочитают разветвить магистральные линии в рабочие рукавные линии от насоса при тушении. В отличии от Европейцев американцы действуют по-другому: соединяют несколько рабочих рукавных линий в магистральную для того, чтобы обеспечить работу лафетных стволов и мониторов с большим расходом.

В некоторых штатах созданы специальные отряды, пожарные части (финансируемых страховыми компаниями), которые осуществляют деятельность по защите объектов от проливаемой воды и других воздействий огнетушащих веществ.

Такой вид специальных работ, как удаление дыма на месте пожара, обычно не осуществляется. Основным предназначением средств индивидуальной защиты пожарного и снаряжения является защита от подаваемой воды на тушение пожара, к ним относятся: резиновые сапоги, макинтоши, капюшоны, каски с полями в виде зонтов, герметичные молнии. Используются пожарные рукава повышенной надежности и увеличенных диаметров. В эксплуатации пожарных подразделений находятся насосы с повышенной производительностью, а к ним – соответствующие мониторы, устанавливаемые на передвижных лафетах, либо пожарных автоподъемниках.

Российские и американские образцы пожарных стволов схожи между собой по конструкции и характеристикам, при этом, более мягкий климат дает возможность усложнить механизмы, позволяющие переключать режим работы и применять привычную тактику тушения пожаров. Особое внимание стоит обратить на пожарный ствол Thunder Fog с изменяемым расходом. Существует два варианта выпускаемых стволов Thunder Fog 200 и Thunder Fog 250, которые обладают производительностью 12,6 и 16 л/с соответственно, при давлении 0,7 МПа. Thunder Fog 200 позволяет использовать 6 вариантов расхода: 1,9; 3,8; 6; 7,9; 9,5 и 12,6 л/с; Thunder Fog 250 - 5 вариантов расхода: 6; 7,9; 9,5; 12,6 и 16 л/с. Американские образцы пожарных стволов рассчитаны на более высокое рабочее давление имеют повышенную производительность, и обладает одним из главных преимуществ - дальность подачи огнетушащего вещества у струи ствола Thunder Fog достигает 50 м, против 35 м, у отечественного пожарного ствола КУРС-8.

Собственная тактика тушения пожара также характерна для пожарных Англии [10], которая является сочетанием немецкой и американской тактики. Она представляет собой вскрытие и демонтаж строительных конструкций на удалении от места пожара, при этом происходит подготовка к ликвидации пожара.

Целенаправленно дают выгореть некоторым участкам в защитной зоне, осуществляются действия для защиты близлежащих защищаемых участков. Подобная тактика применяется при тушении не только открытых пожаров, но и в ограждениях.

В отличие от американской боевая одежда пожарного считается более универсальной и защищает от воздействия как пламени, так и воды. Укомплектование пожарных автомобилей осуществляется большим перечнем аварийно-спасательного инструмента и оборудования.

Можно выделить такие тактические преимущества английского метода перед немецким как:

- достижение уменьшения количественного состава отделений на пожарных автомобилях за счет универсализации;
- снижение воздействия опасных факторов пожара на личный состав, во время проведения боевых действий по тушению пожаров;
- создание так называемых опорных пунктов тушения пожаров (размещение, аварийно-спасательное оборудование и пожарное оборудование) на крупных объектах и в зданиях позволяет снизить вес пожарных автомобилей, увеличить их мобильность, способствует организации проведения первоочередных действий добровольной пожарной охраны до прибытия пожарных подразделений.

В Англии компанией Delta Fire производятся пожарные стволы для пожарных подразделений с автоматической регулировкой и трубчатым клапаном. Самым подходящим для этих целей материалом является алюминий, который в последующем, подвергается анодированию в черный цвет, что позволяет максимально защитить от коррозионных проявлений и увеличить его прочность.

Многоцелевые пожарные стволы Delta [9] имеют возможность применения с рукавными линиями высокого давления (вплоть до 50 бар), сочетая в себе способность автоматического регулирования давления, позволяющего создать максимально возможные струи подаваемого вещества. Рабочее давление на входе

ствола находится в диапазоне от 5 до 8 атмосфер, данные показатели способствуют решению многих задач.

При производстве похожих стволов используется шаровый перекрывной механизм. В пожарных стволах Delta Fire применяются другие конструктивные особенности для прекращения подачи огнетушащего вещества. Данный эффект возможен в результате скольжения трубчатого клапана, обладающий техническим превосходством перед шаровым клапаном:

- недостатком шарового клапана является его работа либо в открытом положении, либо закрытом. Поэтому основным преимуществом скользящего клапана проявляется в возможности регулировать потоки жидкостей в диапазонах от полного открывания до его закрытия;

- во избежание гидроудара, способного повредить насос, шаровый клапан необходимо открывать медленно. Отличительной чертой скользящего клапана можно считать способность открываться и быстро, и медленно;

- открывание шарового клапана затруднительно при большом давлении. Автоматические же стволы Delta легко справляются с открыванием в зависимости от величины давления.

Установлен начальный угол распыления 35° , при необходимости имеется возможность регулировки. У модернизированных пожарных стволов Delta при изменении давления в рукавной системе диаметр входного отверстия не меняется даже при фиксированном расходе, благодаря чему сохраняются необходимые значения, и соответственно дальность подачи огнетушащего вещества.

В пожарных стволах Delta исключены недостатки шаровых клапанов в результате своей надежности. Они обладают такой необходимой функцией, как промывка в случае засорения, при этом нет необходимости отсоединять его от рукава. Установка защитной сетки-фильтра из нержавеющей стали на входе в ствол является еще одним его преимуществом.

Внедрение резиновых зубцов в выходной части модернизированных стволов Delta Fire исключила один из главных недостатков – это нарушение целостности зубцов вращающегося колеса турбины.

Производимая линейка стволов Delta Fire представлена в виде четырех моделей с входными диаметрами 50, 70 и 80 мм. Для работы больше всего подходит пожарный ствол Delta DM 600, с входом 50 мм. Данный размер соответствует таким отечественным стволам как КУРС-8 и ИТС-50. Производительность его составляет от 0,8 до 11,7 л/с. Ни один из выше представленных образцов не может похвастаться схожим экономичным расходом. Стволы, производимые в нашей стране, наделены способностью производить от 2 до 8 л/с. Важным показателем считается обладание рабочим давлением от 5 до 8 атм. и дальностью подачи огнетушащего вещества 40 м. Еще одним важным преимуществом пожарного ствола является его малый вес, который составляет 2,5 кг.

В целом, огнестойкость зданий и сооружений зависит от свойств строительных конструкций. Их поведение в результате воздействия высоких температур зависит от этажности, объема и его функционального назначения. Климатические особенности, как правило, не влияют на эти показатели. Максимальная огнестойкость здания увеличивает временные показатели для проводимой эвакуации людей, а также снижение рисков для личного состава подразделений пожарной охраны.

Главной отличительной чертой действий отечественных пожарных является универсализация действий участников тушения пожара, другими словами, применение всех вышеуказанных [11].

Проведение постоянных тренировок, постоянный контроль деятельности ГДЗС. Стремление подойти к очагу пожара, на максимально близкое расстояние, невзирая на возможную опасность. Поэтому позиция ствольщика должна находиться желательно выше уровня горения, ну или хотя бы на уровне очага [12].

Главным требованием к огнеборцам России всегда считалось высокий уровень тактической и физической подготовки, решительность действий, оправданный риск, во время выполнения тех или иных задач при тушении пожаров.

Таким образом, при надлежащей подготовке, дежурный караул может выполнять целый комплекс задач, регламентированных боевым уставом. Для этого необходима универсализация вооружения, находящегося в пожарных подразделениях.

Развитие технологий в строительстве постоянно вводит новые требования к тактике тушения пожаров, требует постоянной модернизации пожарной техники и вооружения. В современном перевооружении пожарных подразделений основной задачей является сочетание новых технологий и надежности пожарнотехнического вооружения [13]. Основной частью пожарных автомобилей являются автоцистерны, поэтому на них и вывозится практически все пожарнотехническое вооружение и оборудование [14].

При соответствующей подготовке, дежурный караул способен выполнять большой диапазон работ, определяющий Боевым уставом [15-17]. Для решения всех этих задач, подразделения должны быть в полной мере обеспечены всеми видами защитной экипировки и модернизированными видами вооружения.

К сожалению, растет число погибших на пожарах. Для проработки данного вопроса на постоянной основе осуществляется анализ гибели людей на пожарах с момента прибытия пожарного подразделения до его полной ликвидации. На основании этого, производится выработка новшеств в тактике ведения действий по тушению пожаров.

Способы прекращения горения и выбор средств его ликвидации зависит от соответствующей обстановки на пожаре. При определении того или иного огнетушащего вещества во внимание принимаются такие параметры как: площадь и скорость распространения пожара, задымленность, а также степень угрозы жизни людей.

Пожарная тактика помогает определить процессы на конкретном пожаре и установить взаимосвязь между ними. В число задач пожарной охраны входит изучение ее действий, повышение профессионализма личного состава, в том числе при проведении аварийно-спасательных работ. Кроме этого, пожарная

тактика включает в себя и организационные мероприятия психологической подготовки участников тушения пожаров [18].

Важную роль в успешной ликвидации пожаров играет оснащение подразделений пожарной охраны, а также тактико-технические характеристики пожарно-технического вооружения [19].

На основе информации о распространении пожара, интенсивности подачи огнетушащих веществ и его расходе, можно провести расчеты сил и средств для выполнения той или иной боевой задачи [20].

На основании проведенных расчетов легко определить место ввода пожарного оборудования и его количества. Тактические возможности пожарного подразделения определяются исходя из максимально возможного объема работ при выполнении той и или иной боевой задачи, за определенный промежуток времени [21-24].

1.4 Проблемы конструкции современного пожарного оборудования

При ликвидации пожаров невозможно обойтись без использования большого количества участников тушения пожара, пожарной техники и пожарно-технического вооружения [25].

Пожарно-техническое вооружение, комплектуемое пожарные подразделения, отстает от быстроразвивающегося развития современных технологий, и не всегда удовлетворяет возникающим потребностям. В результате этого становятся открытыми такие проблемные вопросы как: укомплектованность дежурных караулов, превышение сроков эксплуатации техники, морально устаревшие средства пожаротушения. Это демонстрирует то, что для повышения эффективности действий личного состава пожарной охраны требуются дополнительные силы и средства, снижающие возможность их использования на других направлениях.

Во всем мире постоянно ведутся работы по разработке абсолютно новых образцов приборов пожаротушения, при всем при этом достигаются вполне весомые результаты.

Создание и применение современных образцов пожарного оборудования не обходится без исследований мировой науки.

Основными видами пожарного оборудования, применяемыми при ликвидации пожаров, являются ручные и лафетные пожарные стволы.

Ключевой проблемой считается повышение эффективности тушения пожаров за счет применения технических средств доставки огнетушащих веществ к очагу пожара, в особенности на значительно удаленные расстояния [26-30]. Это связано с быстро растущим технологическим прогрессом в производственных и жизнедеятельных процессах во всех развивающихся странах. Данные явления повышают требования к приборам, используемым в мобильных устройствах пожаротушения [31-38].

1.5 Изучение вихрей

В науке проведено большое количество теоретических и экспериментальных исследований по изучению вихрей, а также исследований различных видов движения жидкостей, с замкнутыми или почти замкнутыми линиями тока и ненулевой завихренностью в ограниченном пространстве.

Интерес, возникший к изучению таких движений жидкости, проявляется следующими аспектами:

- такие формы течений имеют большую распространенность в природных условиях, при этом можно увидеть широкий диапазон изменения их значений. На поверхности земли образуются вихри, исчисляемые километрами, в атмосфере они представляют собой спиральные облачные системы и их различные формы – тайфуны и ураганы [39], в океанах и морях такие проявления представляют собой мезомасштабные вихри и кольцевые течения [40].

Различные исследования показали, что запас кинетической энергии в вихрях достигает больших значений, компактные вихри в атмосфере, например, торнадо, могут наносить большой экономический и экологический урон, а также привести к гибели людей.

Для стабилизации физико-химических процессов горения, в промышленности используют вихревые потоки, за счет разделения компонентов, изъятием твердых и жидких механических включений [41]. История исследований вихревых потоков, а также их воздействие на их изменения в гидродинамике представлено в монографии [42].

Одной из первых работ рассматривающих вихревые потоки считается статья Г. Гельмгольца «Основы вихревой теории» 1858 года [43, 44], в последствии проводились теоретические исследования А. Пуанкаре, академиком В.В. Козловым [44] и многими другими исследователями.

Большой вклад в изучение теории вихрей произвели Л.М. Милн-Томсон, Г. Вилл, Бэтчелор, Лаврентьев и Шабат, Сэффмэн и Люгт [45-51].

Работы данных авторов объясняют некоторые особенности вихревого движения, но не раскрывают механизмы формирования вихрей и не позволяют полностью описать прогнозирование эволюции их развития и распада. Менее изученными считаются задачи, объясняющие перенос вещества. На сегодняшний день в физических экспериментах замечены спиральные формы при вращении жидкостей, при этом отсутствуют их математические модели.

При практическом изучении вихревых течений существуют трудности с нестационарностью в «абсолютной» системе координат. Диффузия импульса и вещества в последствии меняет структуру, а вязкость замедляет вихри. В связи с этим, обращается внимание на изучение свойств в широком диапазоне значений вихревых течений. При изучении вихревых течений необходимо определить его геометрические параметры.

Выводы по главе 1

1. Рассмотрены вопросы, предшествующие осуществлению корректировки тактики при тушении пожаров и штатной численности пожарных подразделений в России.
2. Проведен анализ статистики пожаров и разобраны их количественные показатели. Определены основные проблемные вопросы, влияющие на статистические данные возникающих пожаров.
3. Проведен сравнительный анализ пожарных стволов, имеющих на вооружении пожарных подразделений. Определены их сильные и слабые стороны, а также достоинства и преимущества.
4. Рассмотрены основополагающие принципы возникновения вихревого потока и приведен анализ теоретических исследований.

ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ И ЛАМИНАРНЫХ ПОТОКОВ

2.1 Исследование нарезного ствола

Для продолжения изучения исследуемых процессов необходимо рассмотреть устройство стрелкового оружия, которое понадобится в последующем изучении подобных тем. В стрелковом оружии его основной частью является ствольная часть. В ней создаются условия для создания зарядом некой энергии, сгорание которой происходит в камере заряда, передающей пуле поступательное движение, придавая ей скорость и способность следовать в нужную цель.

Внутренний канал ствола визуально представляет собой трубу. В целом, каналы всех стволов обычно конструктивно одинаковы, отличительной чертой может, как правило, служить количество, форма и вид нарезов.

Конструктивные особенности стрелкового оружия можно по аналогии перенести и на приборы пожаротушения. При этом в качестве патрона выступают огнетушащие вещества, которые отличаются друг от друга, однако схожи по своим функциональным направлениям.

Сопоставив работу нарезного оружия и внесение подобных условий для совершенствования элементов конструкции устройств пожаротушения, создающих вихревые потоки, получим необходимый закрученный поток жидкости для достижения необходимых результатов.

Ствольная часть состоит из гладкой и нарезной области. Считается, что нарезная часть ствола не может быть короткой, потому что сильно закрученный подъем нарезов с большой долей вероятности может сорваться. Для нарезной составляющей, в зависимости от назначения, применяются разное количество витков, что влияет на калибр и длину оружейного ствола. В дальнейших исследованиях пожарных стволов необходимо достичь схожих принципов работы

с нарезным оружием, т.е. добиться закручивания огнетушащего вещества, подаваемого в очаг пожара.

2.2 Турбулентность и ламинарность в приборах пожаротушения

Различными способами было определено существование двух принципиально разных способов движения жидкостей: ламинарного и турбулентного. Ламинарный поток – это упорядоченное движение слоистой жидкости без поперечного перемешивания и пульсации скорости и давления. Ламинарный режим может наблюдаться при движении высоковязких жидкостей: глицерина, минерального масла, мазута и т.д. На практике это наблюдается в тонких капиллярных трубках: вода фильтруется в поры почвы, движение крови в сосудах. Турбулентность – это хаотичное, очень нерегулярное движение жидкости, сопровождающееся активным боковым перемешиванием, пульсацией скорости и давления. Примерами движения в турбулентном режиме являются потоки воды в реках, системах отопления, водопроводных сетях, центробежных насосах и турбинах. Турбулентный режим можно увидеть в трубопроводных системах, по которым транспортируется бензин, керосин, спирт, а также другие жидкости с низкой вязкостью. Первый систематический эксперимент по определению режима движения жидкости проведен британским физиком Осборном Рейнольдсом. Число Рейнольдса использовалось для количественной оценки области течения жидкости. Число или критерий Рейнольдса для цилиндрической трубы можно определить по всем известной формуле.

Максимальное достижение ламинарного течения жидкостей и снижение турбулентности является неотъемлемой задачей для достижения необходимых результатов в усовершенствовании трубопроводных систем, и повышения его КПД.

При тушении пожаров с использованием пожарных стволов испытываются трудности, связанные с турбулентностью жидкостных потоков, которые образуются при прохождении огнетушащего вещества через пожарный насос. В

целях преобразования турбулентных потоков используются различного рода успокоители, предназначенные для устранения вращения потока жидкости вокруг своей оси путем разбивания общего сечения потока на несколько частей и подвода воды к насадку ствола прямолинейными струйками, которые хоть и играют свою положительную роль в решении данного вопроса, но недостаточно. При проведении исследования вихревых потоков проработан вопрос их создания для снижения турбулентности жидкостей. При использовании успокоителей достигается эффект снижения турбулентности движущейся жидкости в малых величинах, дающий малую результативность. Процессы зависимости давления жидкости от скорости ее течения объясняет закон Бернулли.

При увеличении скорости движения жидкости коэффициент гидравлических потерь снижается.

Гидравлические потери в рукавных магистральных линиях можно разделить на два типа:

- потери на трение по всей длине образуются при равномерном течении в прямых рукавных линиях постоянного диаметра, при этом прямо пропорциональны его длине;

- местные гидравлические потери, определяются местным гидравлическим сопротивлением, либо изменениями формы и диаметра сечения, которые деформируют поток. Местные потери можно увидеть при резком расширении, либо сужении, а также при повороте и т.п.

Гидравлические потери выражаются в так называемых потерях напора $\Delta\rho$, либо как давления ΔP : $\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g}$, где ρ – плотность вещества, g – ускорение свободного падения.

Считается что расходование энергии при движении жидкости [52] через определенную составляющую гидравлической системы пропорциональны квадрату скорости жидкости [53]. В результате чего, сопротивление является безразмерной величиной ζ , и называется коэффициентом потерь, либо коэффициентом местного сопротивления, при этом

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho \omega^2}{2g}, \Delta h = \zeta \frac{\omega^2}{2g}, \quad (2.1)$$

Предполагается, что скорость ω по всему сечению потока одинакова, $\zeta = \frac{\Delta P}{e_{\text{норм}}}$, где $e_{\text{норм}} = \frac{\rho \omega^2}{2}$ - является энергией торможения единицы объема потока относительно канала. На самом деле, в потоке скорость жидкости непостоянна, в нормативной документации в этих формулах за основу берется среднерасходная скорость $\omega = Q/F$, где Q – объёмный расход, а F – является площадью сечения, для которого и производится расчет скорости [54]. Таким образом, отсюда следует, что средняя энергия торможения потока, как правило, несколько больше $\frac{\rho \omega^2}{2}$.

Для определения линейных потерь следует пользоваться коэффициентом потерь на трение по длине (коэффициент Дарси) λ , присутствующего в формуле Дарси – Вейсбаха [54]

$$\Delta h = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (2.2)$$

где L – это длина элемента,

d – характеризует размер сечения (диаметр).

В единицах давления происходит иначе:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2}, \quad (2.3)$$

следовательно, для линейного элемента относительной длины L/d , коэффициент сопротивления трения будет определяться как $\zeta_{mp} = \lambda L/d$.

2.3 Воздействие способа течения жидкости в трубах на гидравлические потери

Известно, что при турбулентном движении присутствует расходование энергии потока на преодоление вязкости, при этом гидравлические потери значительно больше, чем при ламинарном. К примеру, напор на насосах можно уменьшить на порядок, если в водопроводных и отопительных сетях, при обычных скоростях движущейся жидкости, возможно было бы поддерживать абсолютно ламинарное движение потока. Если преобразовать ламинарное движение потока в турбулентное, то это вызовет резкое увеличение сопротивления (другими словами, в определенном диапазоне чисел Рейнольдса, ламинарное движение нестабильно, но в конкретных условиях присутствует). Коэффициент гидравлического сопротивления при ламинарном движении становится больше, чем при турбулентном, поскольку ламинарному движению присущи скорости гораздо ниже. В ламинарном потоке сопротивление приблизительно линейно зависит от скорости движения жидкости, при этом коэффициент примерно линейно снижается, однако для турбулентного движения в ровных трубах данная зависимость приобретает другой вид [55].

На сегодняшний день, для преодоления гидравлических потерь в различного рода трубопроводах используются технические приборы (например насосы).

Для того, чтобы уменьшить гидравлические потери, следует исключить использование составляющих в конструкциях оборудования, обеспечивающих резкие преобразования направления потока, то есть замена резкого увеличения диаметра трубы постепенным. Известен тот факт, что даже в идеально гладких трубах присутствуют гидравлические потери, и при ламинарном потоке

шероховатость оказывает незначительное влияние, но её увеличение в технике, вызывает повышение гидродинамического сопротивления [56].

В жизни присутствуют моменты, когда наоборот необходимо добавить гидравлическое сопротивление. Здесь можно применить различного рода устройства, повышающие гидравлическое сопротивление. Если известен график коэффициента гидравлического сопротивления, то можно узнать скорость потока.

2.4 Математическая модель движения вихревых потоков жидкости

Для того, чтобы увеличить дальность подачи огнетушащего вещества, необходимо проработать устройство для создания вихревого потока. Например, в [57-58] авторами объяснено, что в результате течения жидкости в загнутом пространстве на все частицы воздействуют центробежные силы. Но размещение скоростей по всему сечению не будет равномерным, в данном случае в центральной части скорости будут выше, а вдоль стенок ниже. В данном случае, центробежная сила пропорциональная квадрату скоростей, станет намного выше в середине потока, нежели вдоль стенок. Использование винтового движения жидкостей все чаще и чаще встречается в современных лафетных пожарных стволах, которое является прообразом вихревого движения [59]. В соответствии с этим, можно использовать теоремы Гельмгольца и Томсона. Равенство нулю циркуляции скорости на поверхности вихревой трубки вдоль переднего замкнутого контура следует из третьей теоремы Гельмгольца. Равенство нулю исследуемой циркуляции не меняется, поэтому остается без изменений и сама вихревая трубка (а также – винтовой шнур). Постоянство напряжения вихревой трубки во времени определяется из четвертой теоремы Гельмгольца. Из второй теоремы следует, что вдоль вихревой трубки напряжение не меняется. О том, что циркуляция скорости вдоль контура вихревой трубки не зависит от времени, свидетельствует теорема Томсона. Отсюда можно сделать вывод о том, что напряжение вихревой трубки также не зависит от времени. Следовательно вихрь остается все же устойчивой структурой.

Воспользовавшись известным уравнением Навье-Стокса, рассмотрим движение жидкости при создании винтового потока:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + X + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right); \\ \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + Y + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right); \\ \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + Z + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right),\end{aligned}\quad (2.4)$$

где u_x, u_y, u_z – компоненты скорости;

t – время;

p – давление;

μ – коэффициент динамической вязкости;

ρ – плотность вещества;

x, y, z – координаты.

Используем уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(pu_x)}{\partial x} + \frac{\partial(pu_y)}{\partial y} + \frac{\partial(pu_z)}{\partial z} = 0 \quad (2.5)$$

Если допустить, что:

- движение установившееся, то есть рассмотрим течение в плоскости xOy ;
- плотность вещества постоянная, $\rho = const$;
- массовая сила много меньше других действующих сил, соответственно ею пренебрегаем.

Тогда, с учётом вышеуказанных допущений уравнения Навье-Стокса [60-64] и неразрывности при регулярном течении примут вид:

$$\begin{aligned}
u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right); \\
u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right); \\
\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} &= 0.
\end{aligned} \tag{2.6}$$

В традиционной системе «скорость-давление» записаны в уравнении Навье-Стокса и уравнении неразрывности. Представим эти уравнения в системе «функция тока вихрь» для того, чтобы описать винтовое движение в трубе закручивающего устройства.

Были введены следующие определения:

– функции тока Ψ

$$u_x = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \tag{2.7}$$

$$u_y = \frac{\partial \Psi}{\partial x}; \tag{2.8}$$

– функции вихря

$$\omega = \frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y}. \tag{2.9}$$

В результате преобразований получим следующие выражения:

$$u_x \frac{\partial \omega}{\partial x} + u_y \frac{\partial \omega}{\partial y} = \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) \tag{2.10}$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = -\omega;$$

$$\rho \left(u_x \frac{\partial \omega}{\partial x} + u_y \frac{\partial \omega}{\partial y} \right) = \mu \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right). \tag{2.11}$$

Коэффициент динамической вязкости можно представить в следующем виде:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma}, \quad (2.12)$$

где τ - напряжение сдвига по нормали;

γ - скорость сдвига или градиент скорости.

$$\gamma = \frac{\partial v}{\partial r} \quad (2.13)$$

где r - нормаль к стенке;

v - средняя скорость.

Напряжение трения для неньютоновских жидкостей на стенках определяется:

$$\tau = k \left(\frac{8v}{D} \right)^n \quad (2.14)$$

где k - мера консистенции жидкости (соответственно, чем выше вязкость, тем больше значения);

v - средняя скорость;

D - диаметр канала, если канал не круглый, тогда $D = D_s$;

D_s - эквивалентный диаметр;

n - характеристика степени неньютоновского поведения жидкости (чем больше значения n отличается от 1, тем сильнее проявляются её неньютоновские свойства). В этом случае значение вязкости для неньютоновской жидкости принимает следующий вид:

$$\mu = \frac{k}{\gamma} \left(\frac{8v}{D_s} \right)^n. \quad (2.15)$$

Выводы по главе 2

1. Описаны условия турбулентного и ламинарного течения жидкостей, их природа, а также структурная система. Рассмотрено понятие вихревого движения жидкостей, причина его возникновения и способы его создания. Проведены краткий анализ и исследование, объясняющие необходимость применения схожих параметров в приборах пожаротушения для увеличения дальности подачи огнетушащего вещества в целях повышения эффективности тушения пожара. Рассмотрены вопросы турбулентности и ламинарности в приборах пожаротушения. Проработана математическая модель движения вихревых потоков жидкости.

2. Проведено исследование воздействия способа течения жидкости в трубах на гидравлические потери.

3. Рассмотрена математическая модель движения винтовых потоков жидкости в современных лафетных пожарных стволах, которая является прообразом вихревого движения, и в соответствии с этим возможность использования теоремы Гельмгольца и Томсона.

ГЛАВА 3 Практическая проработка вихревых потоков

3.1 Исследование опытных образцов приборов пожаротушения

Опыт тушения пожаров показал, что основными трудностями при тушении пожаров является дальность подачи огнетушащего вещества через пожарный ствол и сильный тепловой поток, который либо разрушает огнетушащее вещество, либо оказывает большое сопротивление для входящего огнетушащего вещества в зону горения, что приводит к увеличению его расхода.

На сегодняшний день доподлинно известно, что огнестрельное нарезное оружие имеет ряд преимуществ перед гладкоствольным. Винтовые нарезы во внутренней части ствола стрелкового оружия придают снаряду (пуле) вращательное движение. Данный процесс обеспечивает кучность стрельбы, устойчивую траекторию и повышенную дальность полёта. Предлагается похожий принцип действия и для пожарных стволов.

С этой целью была проведена работа по созданию условий, при которых огнетушащее вещество с большей эффективностью будет преодолевать тепловой поток горящего вещества. С внутренней части ствола, где проходит огнетушащее вещество, устанавливаются спиралевидные пластины (Рисунок 3.1). При прохождении жидкости происходит ее закручивание (завихрение) [65].

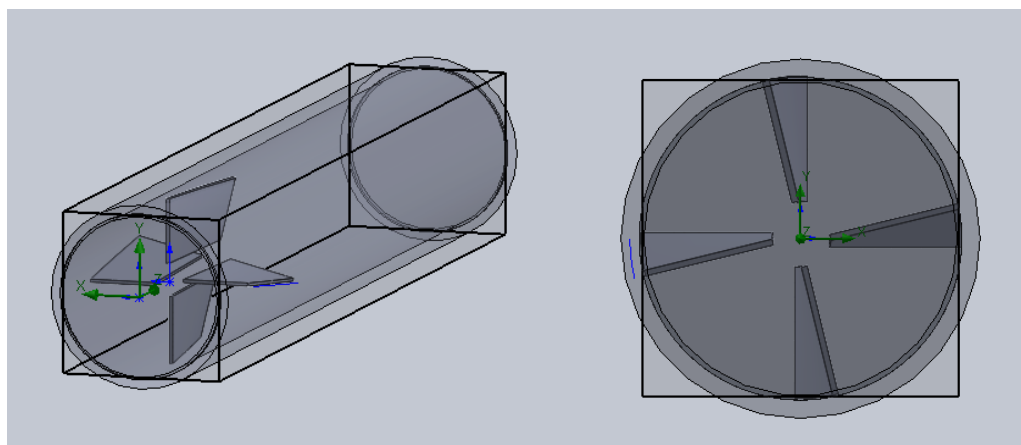


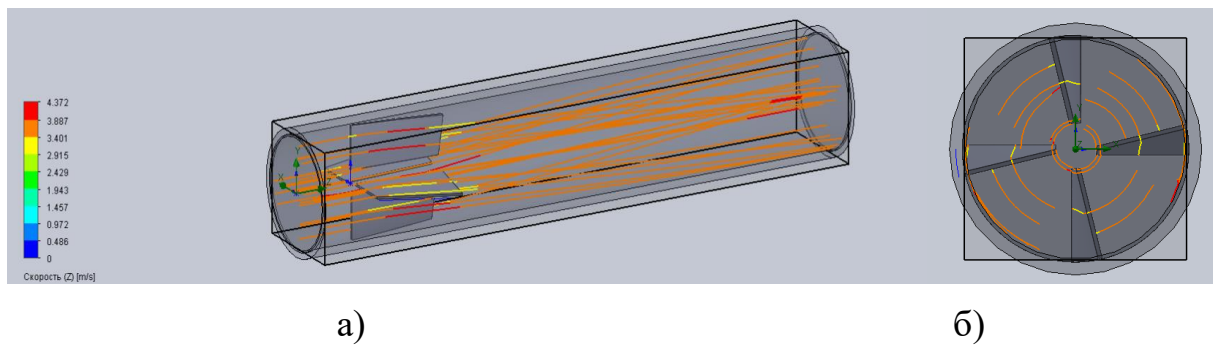
Рисунок 3.1 – Схема закручивателя жидкости

Вихревое движение жидкости способствует более сильному и, в свою очередь, глубокому проникновению огнетушащего вещества в очаг пожара, преодолевающего тепловой поток.

Преодоление всех вышеназванных барьеров неизбежно приведет к уменьшению рисков воздействия опасных факторов пожара на участников тушения пожара.

Одной из причин, снижающих дальность полета водяной струи, является возникающая в стволе турбулентность. Для решения задач по увеличению дальности подачи жидкости проведены исследования её движения в трубном пространстве через закручивающее устройство, выполненное в виде пластин, установленных под углом. Пластины на начальном этапе движущейся жидкости, представляют собой успокоители, которые разбивают общее сечение потока на несколько сечений, что способствует восстановлению скоростей в потоке. Далее пластины приобретают изогнутую форму.

Проведены исследования движения жидкости в трубном пространстве через закручивающее устройство, выполненное в виде пластин, установленных под углом (Рисунок 3.2) с помощью программы Solidworks. На Рисунке 3.2 представлена визуализация изменения скорости потоков изучаемого опытного образца, а также форма движущейся жидкости. Выраженные цветом потоки жидкости демонстрируют числовые изменения скоростей на различных участках закручивающего устройства. Результат исследования показал значительное увеличение скорости движения жидкости после прохождения завихрителей (пластин).



- а) 3D визуализация образования вихревого потока и изменений скоростей;
 б) проекция с входной части закручивающего устройства

Рисунок 3.2 – Модель движущейся жидкости в трубном пространстве ствола

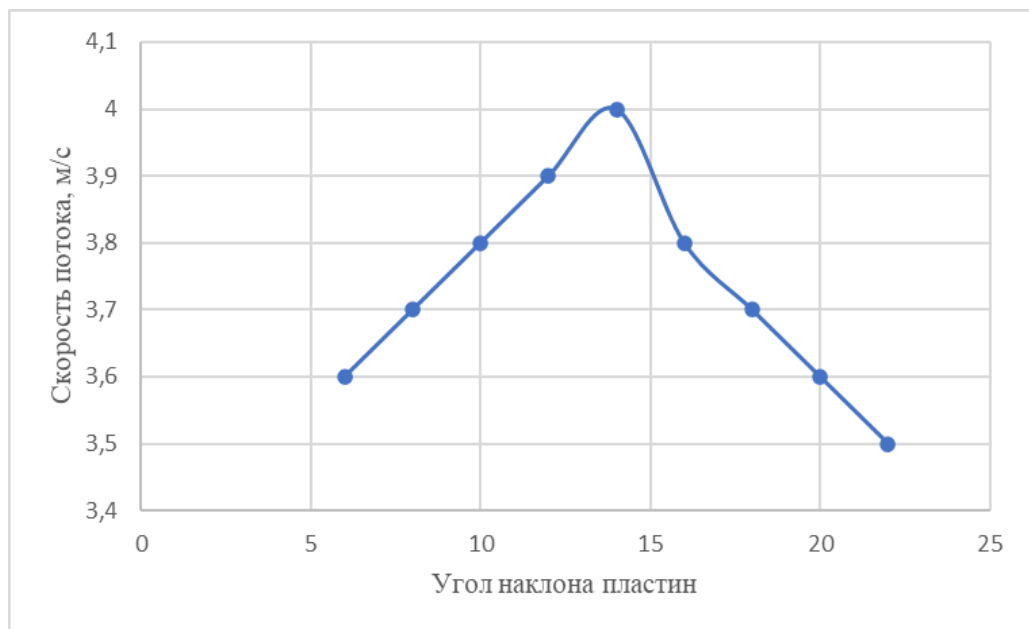


Рисунок 3.3 – Зависимость изменения скорости потока от угла пластины в закручивающем устройстве

Из графика, представленного на Рисунке 3.3, видно, что средняя скорость движения потока через поперечное сечение закручивающего устройства (далее – скорость потока движения жидкости) растёт и достигает своего максимума, когда пластины установлены под углом 14° .

В представленном дополнительном участке разгона струи закручивающего устройства происходит повышение скорости жидкости в направлении течения – от начального значения скорости во входном сечении закручивающего устройства до наибольшего на выходе из него. В силу закона сохранения энергии одновременно с ростом скорости в закручивающем устройстве происходит непрерывное падение давления от его начального значения.

Изучение процессов увеличения скорости потока жидкости и увеличивающейся при этом кинетической энергии самого потока, необходимо для проработки вопросов увеличения дальности подачи огнетушащего вещества с помощью пожарного ствола.

Для подкрепления результатов был разработан опытный образец (Рисунок 3.5), который был опробован в сочетании с уже существующими ручными пожарными стволами TSPR-E GR2 и РСКУ-50А (Рисунок 3.4), для сравнения дальности подачи огнетушащего вещества. Представленные стволы являются комбинированными, универсальными, перекрывными, с возможностью регулировать расход и форму струи, а также предназначены для формирования сплошной, либо распыленной (с изменяемым углом факела) струи воды и воздушно-механической пены низкой кратности.



Рисунок 3.4 – Ручные пожарные стволы TSPR-E GR2 и РСКУ-50А



1 – вход в лопастную часть трубного пространства; 2 – направление потока жидкости; 3 – выход из трубного пространства

Рисунок 3.5 – Опытный образец

Испытание заключалось в том, что сначала определялась дальность подачи воды пожарных стволов, подсоединенных с помощью пожарного рукава к насосу пожарной автоцистерны. Затем пожарный рукав диаметром 51 мм присоединялся к лопастной части опытного образца (точка 1 на Рисунке 3.5), а пожарные стволы по очереди присоединялись к выходу из трубного пространства (точка 3 на Рисунке 3.5) [66].

В опытном образце пластины в внутренней части устройства были смонтированы под углом 14^0 . Исследования осуществлялись при давлении $P=506625$ Па, создаваемым центробежным пожарным насосом производительностью 40 л/с. Параметры давления не менялись в ходе всего эксперимента. Подаваемая жидкость из насоса в опытный образец, во внутреннюю часть которого смонтированы пластины, является вода. В результате сравнительных испытаний, отмечено значительное отличие в сторону увеличения дальности подачи воды, за счет использования предлагаемого устройства [67]:

- при использовании ствола TSPR-E GR2 дальность подачи воды без опытного образца составила 23,4 м, а с образцом - 28 м соответственно. Увеличение дальности составило 20 %;

- при использовании ствола РСКУ-50А дальность подачи воды без опытного образца составила 23,8 м, а с образцом - 28 м. Увеличение дальности составило 18 %.

При повышении давления за счет вращательного движения вещества снижается трение о стенки трубы и увеличивается скорость потока.

3.2 Корпус пожарного ствола

Корпус пожарного ствола является значимой частью пожарных стволов, которая соединяет все части в одно целое.

Удобство обращения с пожарным стволом обеспечивается за счет формы и размеров при любых обстоятельствах его использования, также он должен обладать определенной прочностью и минимальным весом.

Используемые в пожарных стволах материалы должны обладать большой устойчивостью к влаге.

Пожарный ствол должен свободно соединяться и разъединяться с пожарным рукавом.

При производстве пожарных стволов необходимо использовать такие материалы, которые позволили бы не терять свои функциональные свойства в процессе работы и перевозки. Используемые материалы не должны подвергаться воздействиям основных видов огнетушащих веществ (воды и пенообразующих составов), а также атмосферных проявлений.

Предъявляемые требования играют большую роль в изготовлении различных образцов пожарного оборудования. Они не должны терять свою целостность и получать какие-либо растрескивания при использовании и транспортировке. Основным материалом для производства пожарных стволов является алюминий. Выбор данного материала обусловлен низкой склонностью к внешним поломкам и облегчению конструкции.

Потеря целостности и конструктивной формы пожарного ствола приводит к напряжениям металла, а в последующем – росту вибрации в процессе работы с ним.

Специалисты пожарного дела хорошо знают, что в процессе тушения всегда присутствует влага. Отсыревает все: и обмундирование, и ПТВ. Чтобы сохранить пожарный ствол, лучше изготавливать его из алюминия.

3.3 Влияние качества пожарного ствола на подачу огнетушащего вещества

На подачу огнетушащего вещества и качество подачи огнетушащего вещества воздействуют различные факторы. Такие свойства, как компактность подачи огнетушащего вещества путем закручивания через лопасти пожарного ствола достигаются качеством материала и конструктивными особенностями. Лопасти ствола при изготовлении должны быть гладкими и ровными, а также плотно прилегать к рукавной линии. Различного рода шероховатости и неточности при изготовлении проточной части пожарного ствола повышают рассеивание и способствуют появлению водяной пыли при подаче огнетушащего вещества.

Лопастная часть пожарного ствола увеличивает дальность подачи огнетушащего вещества.

Колебания пожарного ствола при подаче огнетушащего вещества возникают вследствие высокого давления. Эти колебания оказывают существенное влияние на качество подачи огнетушащего вещества.

При сравнении традиционных пожарных стволов и нового принципа работы разработанного пожарного ствола с лопастями, отмечается уменьшение распыленности огнетушащего вещества в воздухе. Это объясняется тем, что у разработанного пожарного ствола с лопастями кучность и дальность подачи огнетушащего вещества выше за счет завихрения. При работе с пожарным

стволом, имеющим лопасти, важной особенностью является завихрение огнетушащего вещества.

Классические пожарные стволы, имеющие внутреннюю плоскую часть, значительно увеличивают рассеивание водяной пыли, что влечет к уменьшению дальности подачи огнетушащего вещества.

3.4 Исследование основных характеристик при изменении шага закручивающего устройства

Основными показателями, характеризующими движение жидкости через закручивающее устройство, является расход Q , давление P , шаг закручивающего устройства с учетом его удельной длины h и радиус закручивающего устройства R .

Определение необходимых параметров потока жидкости возможно произвести с помощью уравнения Бернулли, которое учитывает взаимосвязь между собой скорости и давления

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2 + h_{пот}, \quad (3.1)$$

где P_1, P_2 – давление жидкости, кПа;

V_1, V_2 – скорость движения жидкости, м/с;

ρ – плотность вещества, кг/м³;

$Z_1 = Z_2$ – высота подъема, м.

Из этого уравнения можно выделить разность давлений (при $Z_1 = Z_2$)

$$\Delta P = \frac{\rho V^2}{2}, \quad (3.2)$$

Для описания процессов в трубе рассмотрим формулу Пуазейля для стационарного вязкой жидкости в трубе. С внешней стороны на поверхность

трубы действует сила вязкого трения. Определить его показатели можно исходя из уравнения:

$$F_{mp} = -\eta \frac{d}{dr} 2\pi l, \quad (3.3)$$

где F_{mp} – сила вязкого трения, Н

l – длина цилиндра, м;

r – радиус цилиндра, м;

$$\frac{d}{dr} = -\frac{\Delta P r}{2\eta l}, \quad (3.4)$$

где η – коэффициентом динамической вязкости, Па·с;

Из равенства выражений (3.4) получаем

$$d = -\frac{\Delta P r}{2\eta l} dr, \quad (3.5)$$

Скорости в сечении трубы меняются по квадратичному (параболическому) закону от нуля у стенок до максимальной скорости на оси трубы.

В ходе дальнейших преобразований уравнение движения примет вид:

$$V = \frac{\Delta P}{4\eta l} R^2. \quad (3.6)$$

В ходе преобразований полученных уравнений (3.2) и (3.6) получим выражение:

$$V = \frac{8\nu L}{R^2}, \quad (3.7)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

L – шаг закручивающего устройства, м;

R – радиус закручивающего устройства, м;

V – скорость жидкости, м/с.

В уравнении (3.7) выделим удельный шаг закручивающего устройства

$$h = \frac{L}{R}, \quad (3.8)$$

где h – удельный шаг закручивающего устройства.

В ходе преобразований полученных уравнений (3.7) и (3.8) получим выражение:

$$V = \frac{8\nu}{R} h. \quad (3.9)$$

Исследование вихревых потоков направлено на изучение балистики, которая в свою очередь является наукой, изучающей движение тела в поле гравитации и воздушной среде. Движение жидкостей в воздухе определяет скорость истечения, форма насадка, площадь живого сечения насадка и степень турбулентности потока перед насадком. Скорость истечения жидкости и турбулентность потока перед насадком - два взаимосвязанных параметра.

Для проведения исследований применялись некоторые исходные данные. В качестве экспериментальной расчетной модели принимается труба толщиной 3,8 мм, внутренним диаметром 52,4 мм и наружным диаметром 60 мм, на которую возможно наварачивать пожарную соединительную головку с условным проходом 51 мм [64]. Для этих целей возможно использовать трубу длиной не более 300 мм, т.к. данный размер более или менее позволяет работать с ручными пожарными стволами. Полученная конструкция в данный момент предполагается в качестве вставки между напорным пожарным рукавом и ручным пожарным стволом [68]. В качестве используемого огнетушащего вещества задается вода.

Для теоретических исследований вихревых потоков, а также исследования изменений скоростей и давлений движущейся жидкости использовалось программное обеспечение Solidworks.

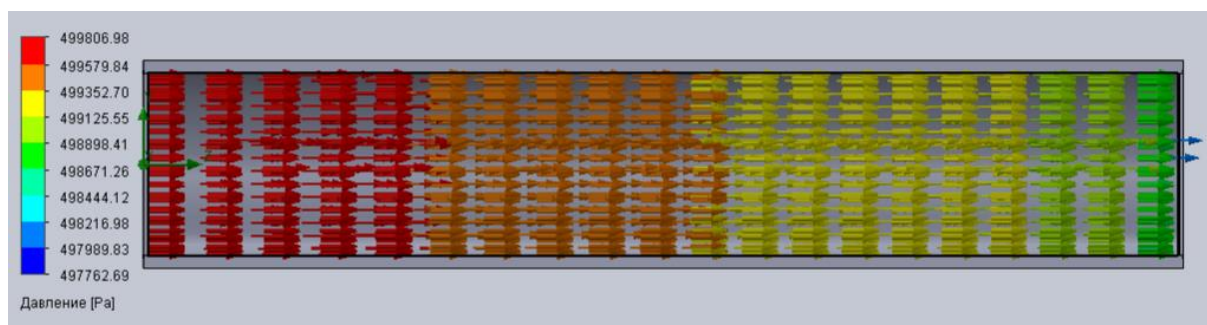


Рисунок 3.6 – Изменение значений скорости движущейся жидкости через трубу

Исследуя движение жидкости в обычной трубе с вышеуказанными размерами, мы получили следующие показатели: $P_{\text{вх}}=506625$ Па и $V_{\text{вх}}=3,71$ м/с; $P_{\text{вых}}=505940,47$ Па и $V_{\text{вых}}=3,72$ м/с.

В ходе анализа полученных результатов обнаружено некоторое снижение давления жидкости на выходе и увеличение скорости ее потока. Данные показатели вполне соответствуют общеизвестным представлениям о характере и природе движения потока [69-70].

Дальнейшие исследования будут осуществляться при $P_{\text{вх}}=506625$ Па. Для решения поставленных задач проработаем вопрос использования закручивающих устройств с различным шагом, которые будут встраиваться в нашу трубу. В целях изучения данного вопроса нам потребуется ввести такое понятие как шаг закручивающего устройства. Шаг 25 означает, что жидкость (вода) делает полный оборот через 25 мм. Соответственно, чем меньше число шага, тем чаще шаг закручивающего устройства.

С помощью визуализированных и вычислительных процессов получены результаты по изменению скорости потока в зависимости от шага закручивающего устройства с шагом 25, 50, 75, 100, 150 и 300 мм соответственно.

Расчётные модели имеют следующий вид (Рисунки 3.6 - 3.11).

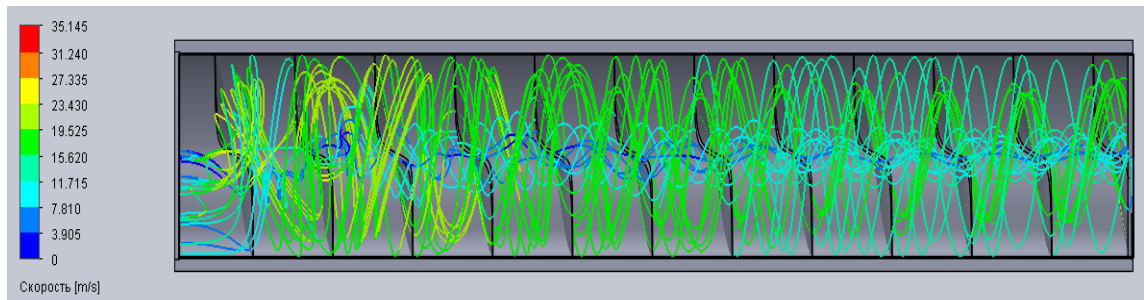


Рисунок 3.6 – Вид расчётной модели с шагом 25 мм

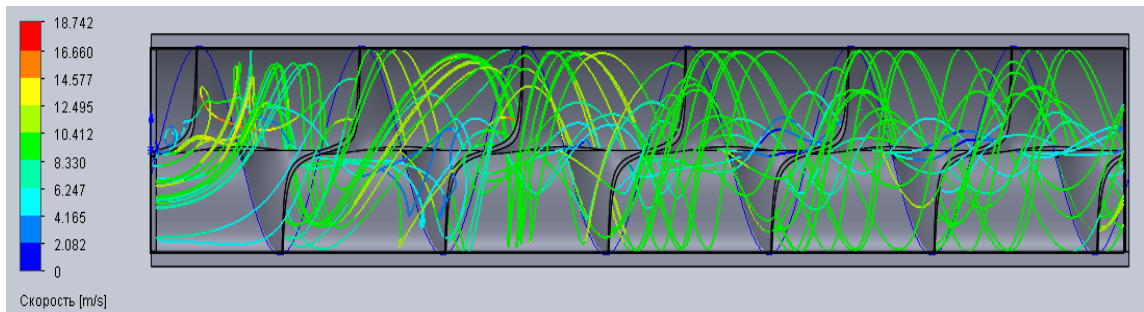


Рисунок 3.7 – Вид расчётной модели с шагом 50 мм

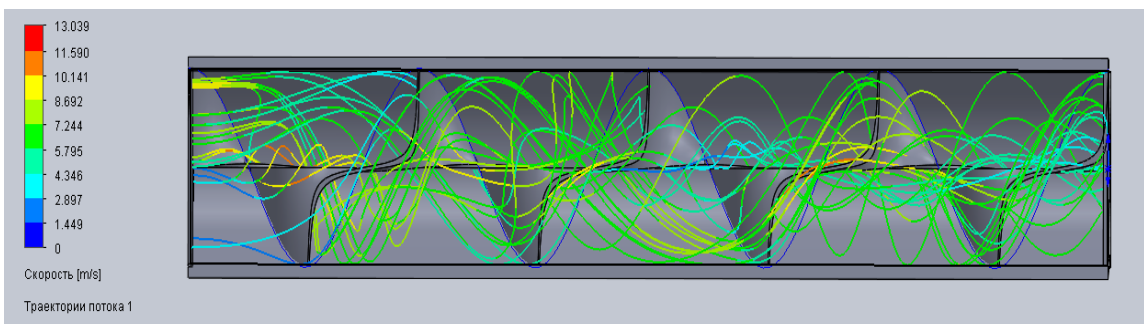


Рисунок 3.8 – Вид расчётной модели с шагом 75 мм

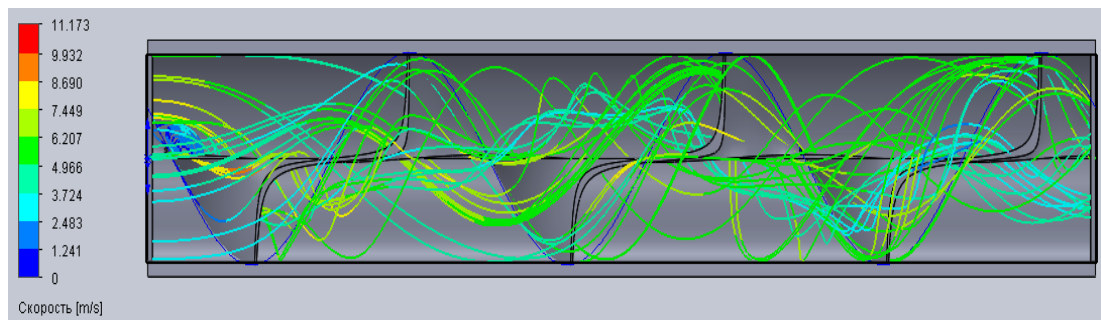


Рисунок 3.9 – Вид расчётной модели с шагом 100 мм

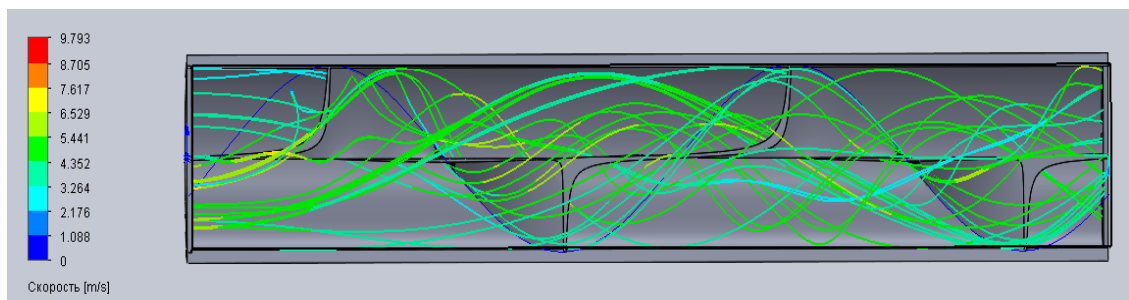


Рисунок 3.10 – Вид расчётной модели с шагом 150 мм

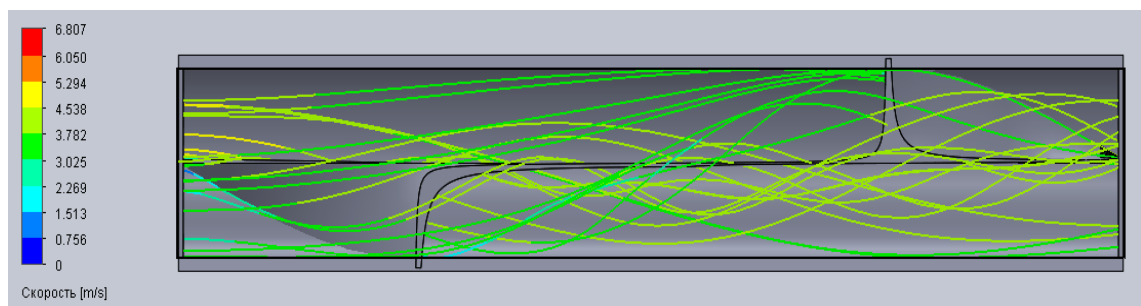


Рисунок 3.11 – Вид расчётной модели с шагом 300 мм

На Рисунках 3.6 - 3.11 наглядно представлена визуализация формы потока жидкости и изменение скорости потока после каждого витка закручивающего устройства.

Оценку скоростей осуществляли после каждого витка закручивающего устройства, а также на выходе у закручивающих устройств с различным шагом.

Графические значения зависимости изменения скорости потока от шага закручивающего устройства после каждого витка представлены на Рисунке 3.12.

Таблица 3.1 – Результаты исследования показателей скоростей и давления после каждого витка закручивающего устройства

Количество витков	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с
0	0	506625	3,9	0	506625	4,38	0	506625	4,95	0	506625	5,7	0	506625	7	0	506625	10,43
1	300	504140	4,1	150	500310	4,77	100	492430	5,92	75	481061	7,11	50	447317	9,9	25	256726	18,89
2				300	498690	4,72	200	489594	5,83	150	478100	6,79	100	442874	9,2	50	210889	17,9
3							300	489643	5,36	225	470391	6,45	150	437718	8,7	75	190294	17,23
4										300	473555	6,34	200	431488	8,6	100	180931	16,77
5													250	430069	8,6	125	177103	16,18
6													300	420581	8,1	150	172338	15,77
7																175	165596	15,47
8																200	164566	14,93
9																225	154973	14,89
10																250	148068	14,97
11																275	140161	14,956
12																300	119500	14,86

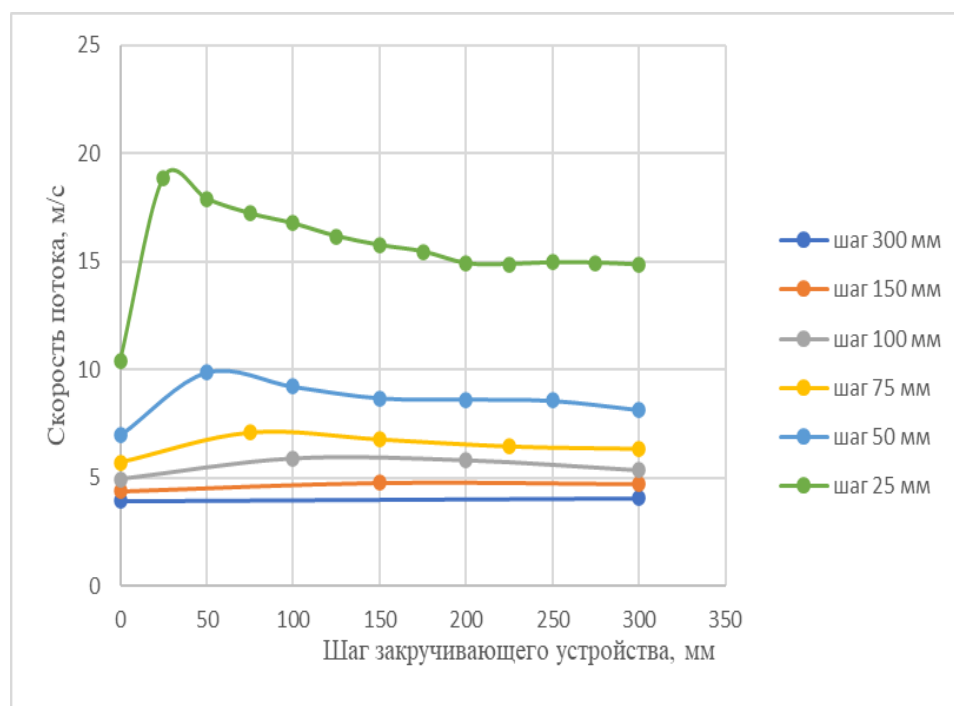


Рисунок 3.12 – График зависимости изменения скорости потока после каждого витка от шага закручивающего устройства

На Рисунке 3.12 отражены изменения показателей скорости потока после каждого витка в зависимости от шага закручивающего устройства. Максимальные значения скорости наблюдаются после первого витка закручивающего устройства с шагом 25 мм. Чем меньше шаг закручивающего устройства, тем меньше площадь поперечного сечения на входе и выше скорость движения жидкости. Однако при шаге менее 25 мм наблюдается снижение пропускной способности, что влияет на объем проходящей жидкости в единицу времени.

При шаге закручивающего устройства 300 мм уменьшение числовых значений давлений минимальны. Соответственно, чем меньше шаг закручивающего устройства, тем сильнее падение давления потока жидкости. Уменьшение шага закручивающего устройства приводит к увеличению гидравлических потерь жидкости.

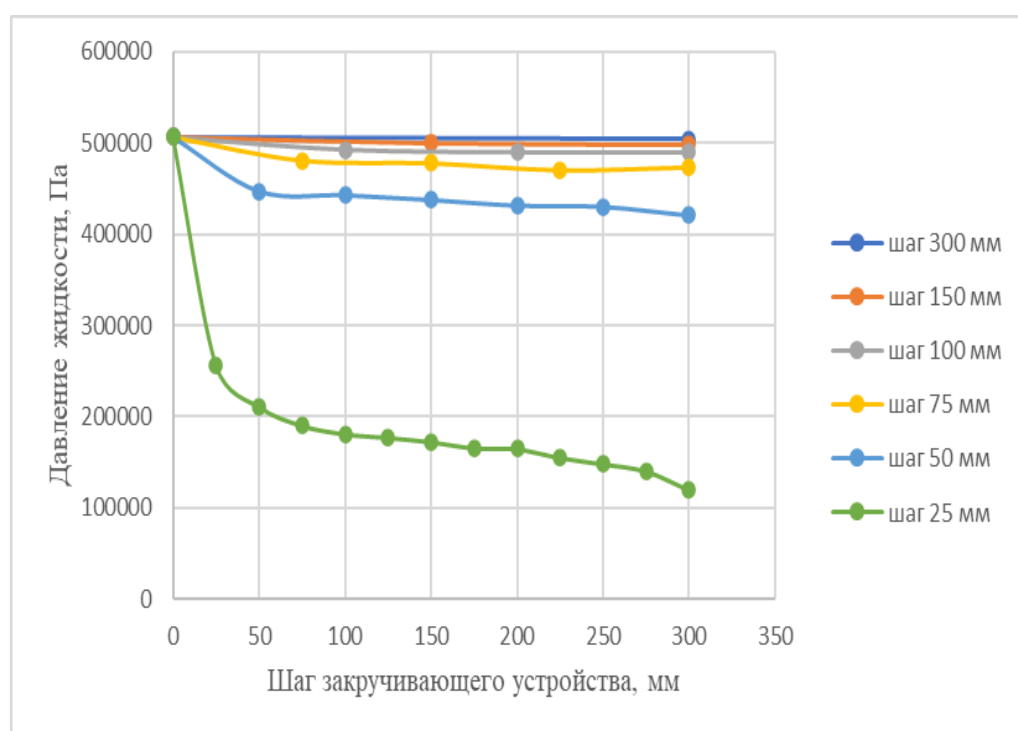


Рисунок 3.13 – График зависимости изменения давления жидкости после каждого витка от шага закручивающего устройства

На Рисунке 3.14 приведен построенный по данным Таблицы 3.1 график зависимости изменения скорости потока в зависимости от шага закручивающего устройства после первого витка, определяющий характер его изменения.

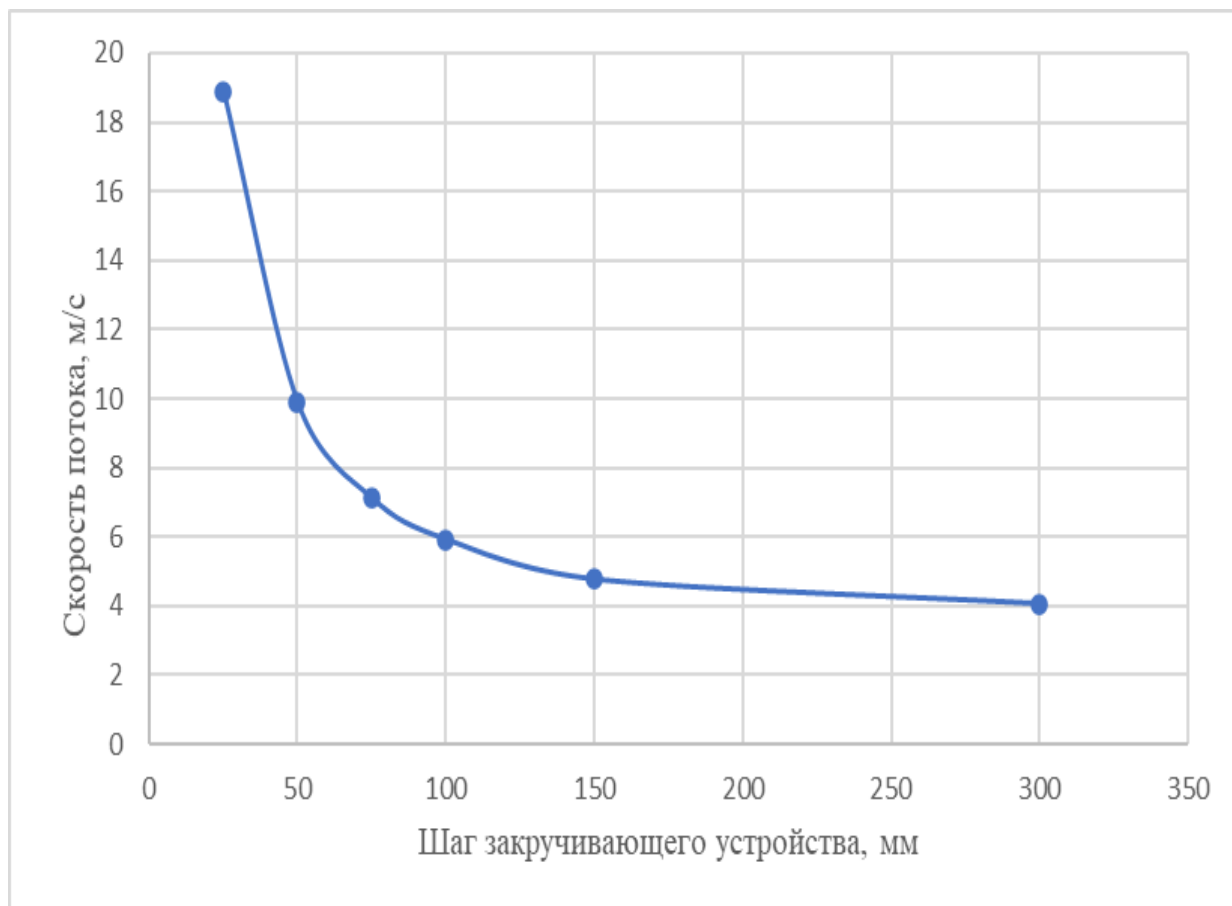


Рисунок 3.14 – График зависимости изменения скорости потока от шага закручивающего устройства после первого витка

На Рисунке 3.15 приведен построенный по данным Таблицы 3.1 график зависимости изменения давления жидкости в зависимости от закручивающего устройства после первого витка, определяющий характер его изменения.

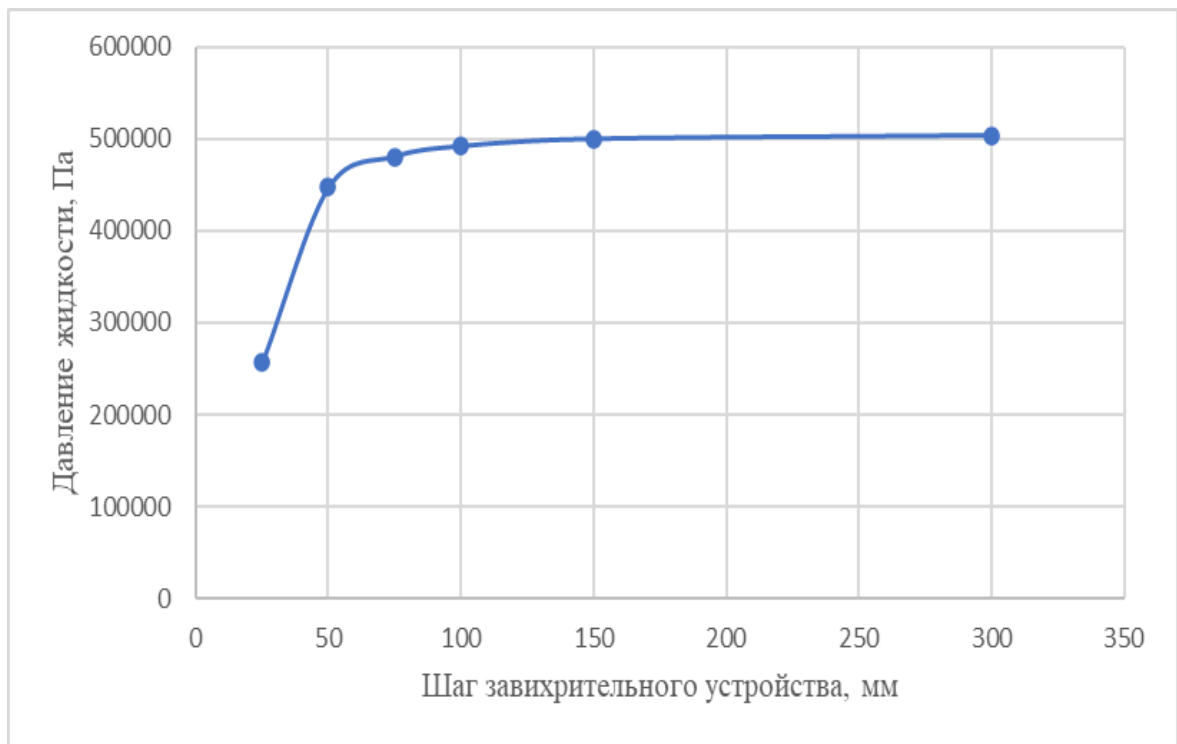


Рисунок 3.15 – График зависимости изменения давления жидкости от шага закручивающего устройства после первого витка

Полученные графические зависимости возможно описать степенной зависимостью:

$$V_h = \frac{8\nu}{R} h^n, \quad (3.9)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$;

R – радиус закручивающего устройства, м;

V_h – скорость движения жидкости при удельном шаге закручивающего устройства, м/с

h – удельный шаг закручивающего устройства;

где $n = -\frac{h}{0,0044},$

В ходе преобразований полученного уравнения (3.9) получим выражение:

$$V = \frac{8v}{R} h^{-\frac{h}{0,0044}}. \quad (3.10)$$

Из Рисунка 3.14 видно, что максимальные значения скоростей потоков получаются после первого витка закручивающего устройства с шагом 25 мм.

Используя Формулы 3.7 и 3.8, получим числовое значение скорости потока через первый виток закручивающего устройства с шагом 25 мм, которая составляет 18,9 м/с. Данные показатели совпадают с числовыми значениями, полученными в ходе моделирования с помощью программы Solidworks.

В справочной литературе присутствуют такие понятия как глубина тушения пожара, что для ручных пожарных стволов составляет 5 метров, а для лафетных – 10 м. Это позволяет предположить возможность увеличения данных показателей. При достижении данных показателей повысится эффективность тушения пожаров, в частности на объектах нефтепереработки, добычи нефти и её хранения. На таких объектах существуют трудности при подаче огнетушащего вещества в очаг. Это обуславливается конструктивными особенностями объектов, невозможностью расположения пожарной техники и пожарных стволов в непосредственной близости, а также существующей дальности подачи огнетушащих веществ через пожарные стволы. Доставляемое вещество теряет свою, так называемую, пробивную силу теплового потока и, соответственно, эффективность тушения.

В современных реалиях необходимо прорабатывать вопросы увеличения скорости потока на выходе из пожарного ствола. В этом случае можно наблюдать все необходимые результаты. Перед пожарными подразделениями стоит много задач, и одним из решений будет повышение дальности подачи огнетушащего вещества за счет устройств для создания вихревых потоков, которые позволяют увеличить скорость потока огнетушащих веществ.

3.5 Исследование основных характеристик при изменении количества витков закручивающего устройства

Рассмотрим в отдельности движение жидкости через закручивающее устройство с шагом 25 мм, имеющего от 1 до 12 витков, или же общей длиной закручивающего устройства от 25 до 300 мм.

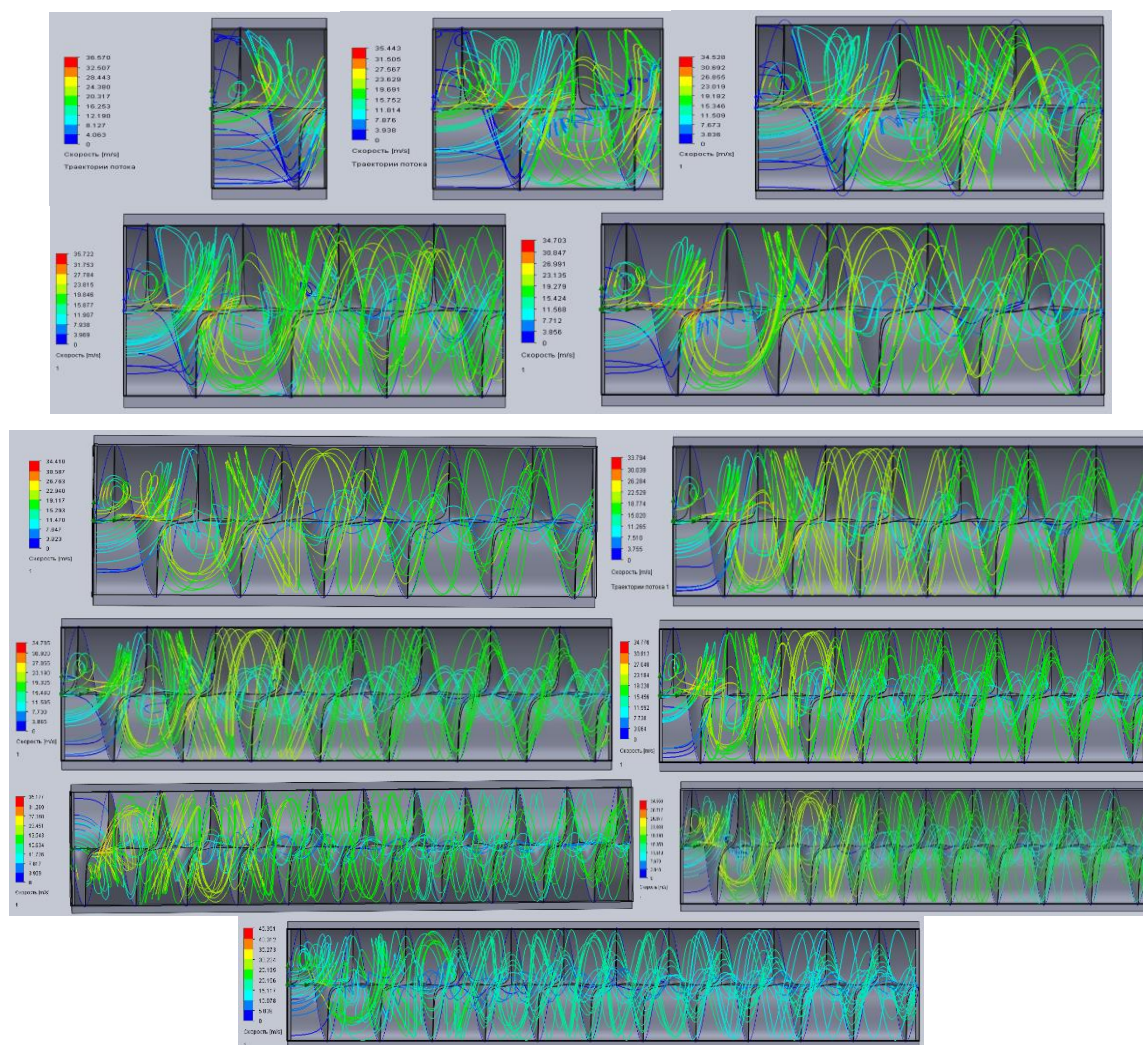


Рисунок 3.16 – Вид расчетной модели с шагом 25 мм и количеством витков от 1 до 12

Таблица 3.2 – Результаты исследования показателей скоростей после каждого витка закручивающего устройства с шагом 25 мм

Количество витков	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с				
0	0	506625	10,5	0	506625	10,2	0	506625	10,3	0	506625	10,51	0	506625	10,4	0	506625	10,5	0	506625	10,3	0	506625	10,4	0	506625	10,3	0	5066625	10,52	0	506625	10,42	0	506625	10,43
1	25	274935	12,5	25	268920	18,98	25	262438	18,28	25	256655	18,71	25	254030	18,7	25	252624	18,8	25	250862	18,7	25	249844	18,9	25	248330	18,89	25	246647	18,87	25	247463	18,91	25	246726	18,89
2				50	2052206	12,7	50	206071	17,17	50	207758,4	17,96	50	2074765	17,9	50	207122	17,8	50	208226	17,8	50	210981	17,8	50	210206	17,81	50	207922	17,78	50	210282	17,82	50	210889	17,9
3							75	180944	12,97	75	1875534	17,25	75	188528	17,2	75	187154	17,2	75	190542	17,2	75	189595	17,2	75	189234	17,23	75	185946	17,18	75	188429	17,21	75	190294	17,23
4										100	170685	15,34	100	181456	16,6	100	181493	16,6	100	181320	16,6	100	181968	16,7	100	181272	16,73	100	180114	16,74	100	180663	16,67	100	180931	16,77
5													125	163523	15,5	125	176820	15,9	125	179427	16	125	179311	16	125	178241	16,02	125	177887	16,04	125	177871	16,04	125	177103	16,18
6																150	156548	15,6	150	173080	15,7	150	175569	15,7	150	177234	15,65	150	172137	15,62	150	171800	15,65	150	172338	15,77
7																		175	152235	15,5	175	169081	15,4	175	169787	15,35	175	164953	15,34	175	165447	15,28	175	165596	15,47	
8																						200	145589	15	200	164058	15,16	200	163802	15,12	200	163871	15,04	200	164566	14,93
9																								225	138591	14,78	225	153772	15	225	153967	15,07	225	154973	14,89	
10																										250	132641	14,83	250	144649	14,97	250	148068	14,97		
11																														275	126845	14,7	275	140161	14,956	
12																																300	119500	14,86		

На Рисунке 3.17 приведен построенный по данным Таблицы 3.2 график зависимости изменения скорости потока от количества витков с шагом 25 мм.

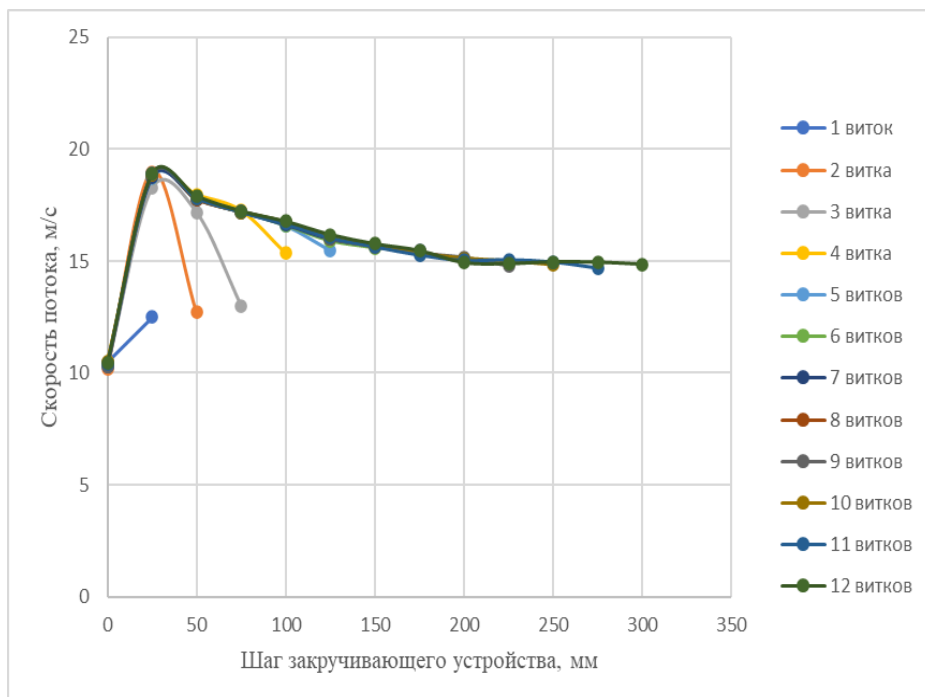


Рисунок 3.17 – График зависимости изменения скорости потока от количества витков с шагом 25 мм

После каждого витка изучаемых закручивающих устройств (Рисунке 3.17) длиной от 25 до 300 мм, и количеством витков от 2 до 12 обнаружены близкие по значению показатели скоростей после одинакового количества витков, если витки закручивающего устройства не являются заключительными, другими словами, теми, которые находятся уже на выходе. Такого же рода изменения были обнаружены при получении результатов изменения значений давления: близкие по значению после одинакового количества витков, если они не являются заключительными. Изменения давления показывают увеличение гидравлического сопротивления в закручивающих устройствах, и чем больше витков закручивающего устройства, тем оно больше.

Таблица 3.3 – Результаты исследования показателей скоростей на выходе из закручивающего устройства с шагом 25 мм

Длина закручивающего устройства, мм (количество витков)	Скорость потока, м/с
25(1)	12,50
50(2)	12,70
75(3)	12,97
100(4)	15,34
125(5)	15,50
150(6)	15,60
175(7)	15,50
200(8)	15,00
225(9)	14,78
250(10)	14,83
275(11)	14,70
300(12)	14,86

В ходе дальнейших исследований скоростей жидкости, проходящей через закручивающее устройство обнаружено, что в закручивающем устройстве с одним витком не наблюдаются максимальные значения. Максимальные значения скорости потока образовались в закручивающем устройстве с шагом 25 мм, длиной от 100 до 175 мм, от 4 до 9 витков соответственно. Далее наблюдается некоторое снижение скорости. Для использования подобного рода приспособлений придерживались максимальных показателей при минимальных размерах. Уменьшение размеров играет важную роль в эргономике пожарных стволов и снижении материальных и энергетических затрат. Наибольший интерес представляет закручивающее устройство длиной 100 мм.

На Рисунке 3.18 приведен построенный по данным Таблицы 3.3 график зависимости изменения скорости потока на конце закручивающего устройства от количества витков с шагом 25 мм.

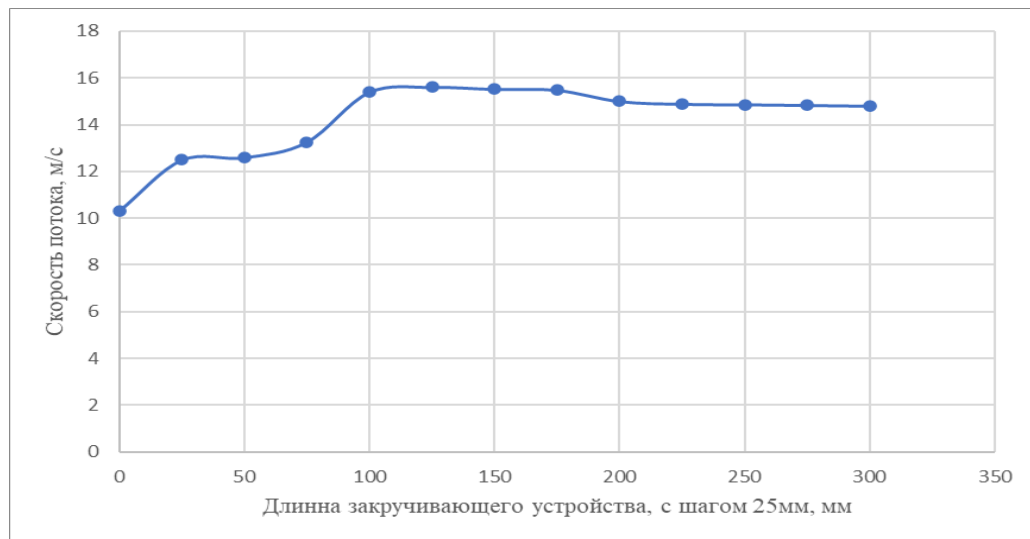


Рисунок 3.18 – График зависимости изменения скорости потока на конце закручивающего устройства от количества витков с шагом 25 мм

Таблица 3.4 – Результаты исследования показателей давления на выходе из закручивающего устройства с шагом 25 мм

Длина закручивающего устройства, мм (количество витков)	Давление потока жидкости, Па
0(0)	506625
25(1)	274935
50(2)	205206
75(3)	175944
100(4)	163684
125(5)	156522
150(6)	152547
175(7)	148234
200(8)	145589
225(9)	143590
250(10)	140640
275(11)	138845
300(12)	137499

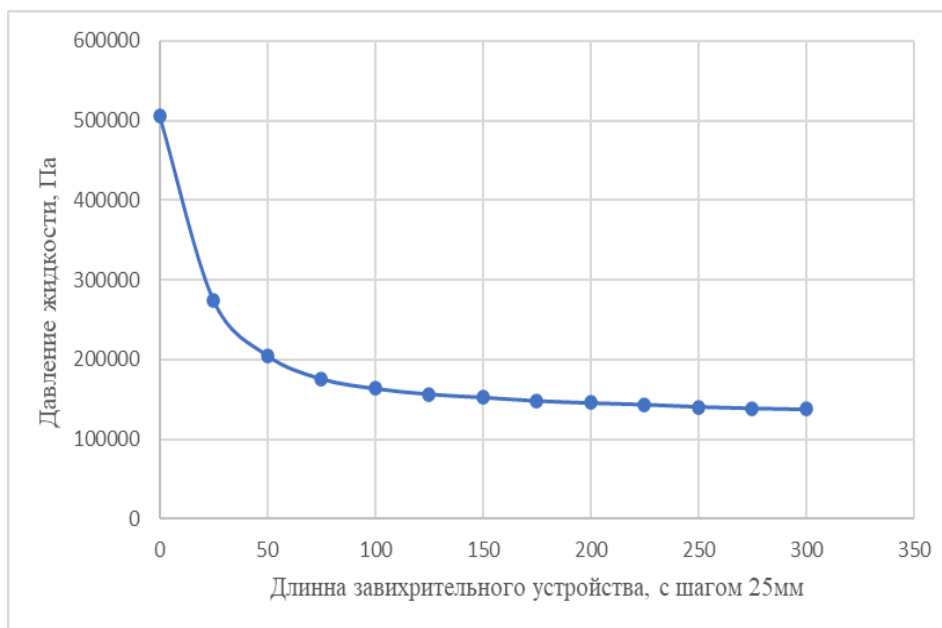


Рисунок 3.19 – График зависимости изменения давления жидкости на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 25 мм

На Рисунке 3.19 приведен построенный по данным Таблицы 3.4 график зависимости изменения давления жидкости на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 25 мм, в котором отмечается снижение давления на выходе из закручивающего устройства. Выравнивание падения давления наблюдается после четвертого витка, то есть, основное падение давления происходит до четвертого витка закручивающего устройства. Сопоставив изменения скорости потока и давления потока жидкости, стоит отметить, что основные оптимальные изменения происходят в районе четвертого витка закручивающего устройства, после которого каких-либо значительных изменений скоростей и давлений не происходит.

Скорость потока на конце закручивающего устройства с количеством витков 6 обладает наибольшими показателями значений скорости. В первых 4-х витках основная масса потока жидкости имеет сильную разнонаправленность в связи с чем средняя скорость потока показывает минимальные значения, однако в последующем поток жидкости принимает более упорядоченный вид.

В ходе исследований закручивающего устройства с шагом менее 25 мм происходит снижение пропускной способности.

Таблица 3.5 – Результаты исследования показателей скоростей после каждого витка закручивающего устройства с шагом 50 мм

Количество витков	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с			
0	0	506625	6,6	0	506625	6,54	0	506625	6,51	0	506625	6,57	0	506625	6,64	0	506625	6,97	0	506625	6,37	0	506625	6,77	0	506625	6,79	0	506625	6,63	0	506625	6,63	0	506625	6,59
1	50	460570	7,5	50	451653	9,48	50	451465	9,48	50	451676	9,45	50	451252	9,5	50	447318	9,87	50	451879	9,48	50	451943	9,47	50	439521	9,5	50	451758	9,46	50	451815	9,44	50	452025	9,44
2				100	444679	8,14	100	441744	9,49	100	443419	9,3	100	443202	9,3	100	442874	9,22	100	444815	9,23	100	445895	9,21	100	431737	9,25	100	445469	9,12	100	445558	9,08	100	445213	9,09
3							150	438474	8,19	150	437741	8,8	150	437084	8,8	150	437718	8,69	150	438977	8,79	150	437500	8,83	150	426548	8,8	150	437701	8,77	150	437202	8,77	150	438161	8,68
4										200	433490	8,2	200	432108	8,6	200	431489	8,63	200	433997	8,66	200	433712	8,61	200	421737	8,6	200	432778	8,6	200	431537	8,58	200	432397	8,53
5													250	428038	8,17	250	430069	8,57	250	431353	8,51	250	431580	8,52	250	419385	8,45	250	430511	8,44	250	428236	8,43	250	429761	8,35
6															300	428581	8,1	300	430550	8,22	300	430557	8,25	300	418003	8,25	300	429384	8,23	300	426763	8,26	300	428187	8,27	
7																			350	428609	7,83	350	428797	8,22	350	415663	8,24	350	426386	8,25	350	423921	8,24	350	424807	8,24
8																						400	426985	7,82	400	413150	8,25	400	424503	8,26	400	420642	8,24	400	416686	8,25
9																									450	419119	7,82	450	423900	8,26	450	417059	8,26	450	423996	8,25
10																											500	416818	7,82	500	412555	8,26	500	412940	8,3	
11																														550	414299	7,82	550	413208	8,2	
12																																600	409596	7,82		

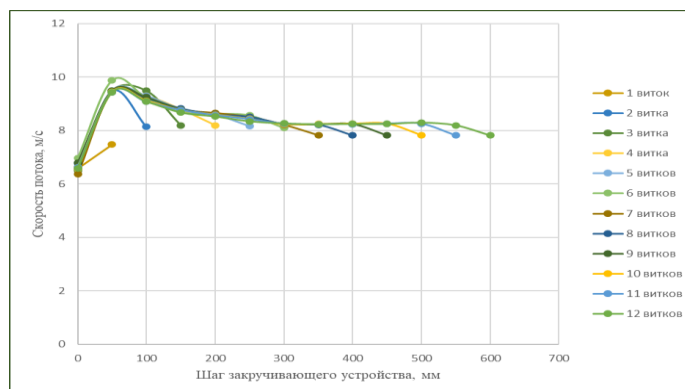


Рисунок 3.20 – График зависимости изменения скорости потока от длины закручивающего устройства с шагом 50 мм

На Рисунке 3.20 приведен построенный по данным Таблицы 3.5 график зависимости изменения скорости потока от длины закручивающего устройства с шагом 50 мм, на котором видно, что после каждого витка изучаемых закручивающих устройств длиной от 50 до 600 мм, и количеством витков от 1 до 12, обнаружены близкие по значению показатели скоростей после одинакового количества витков.

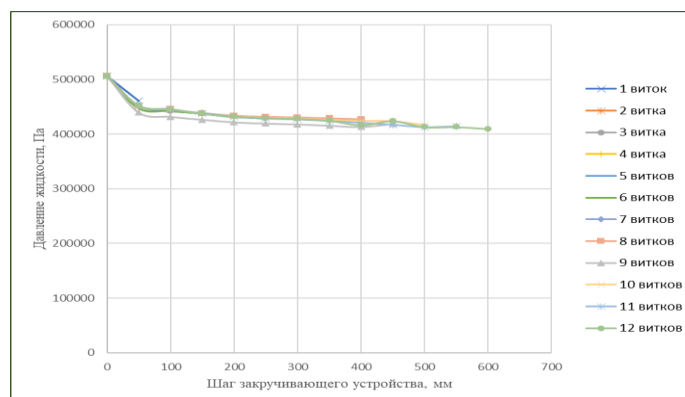


Рисунок 3.21 – График зависимости изменения давления потока на конце закручивающего устройства его от длины с шагом 50 мм

Из графика зависимости, изображенного на Рисунке 3.21, видны изменения давления, которые показывают близкие значения после каждого витка закручивающего устройства, независимо от длины закручивающего устройства.

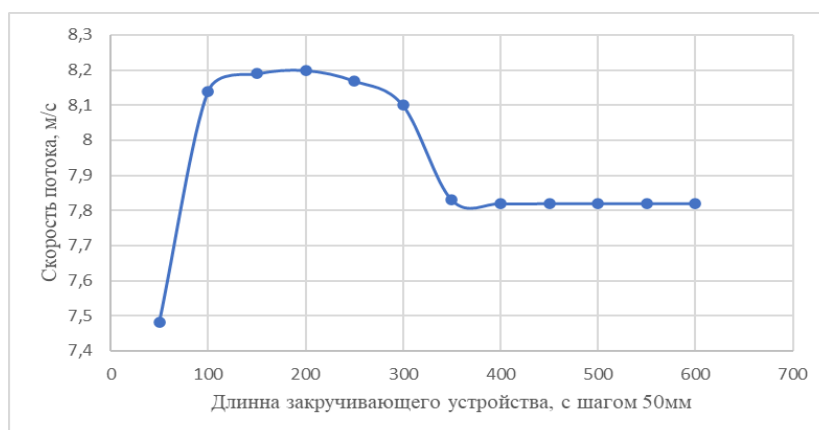


Рисунок 3.22 – График зависимости изменения скорости потока на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 50 мм

В ходе исследований скоростей жидкости (Рисунок 3.22), проходящей через закручивающее устройство с шагом 50 мм установлено, что максимальные значения скорости образовались в закручивающем устройстве длиной 200 мм, после 4 витка соответственно. Далее наблюдается некоторое снижение скорости.

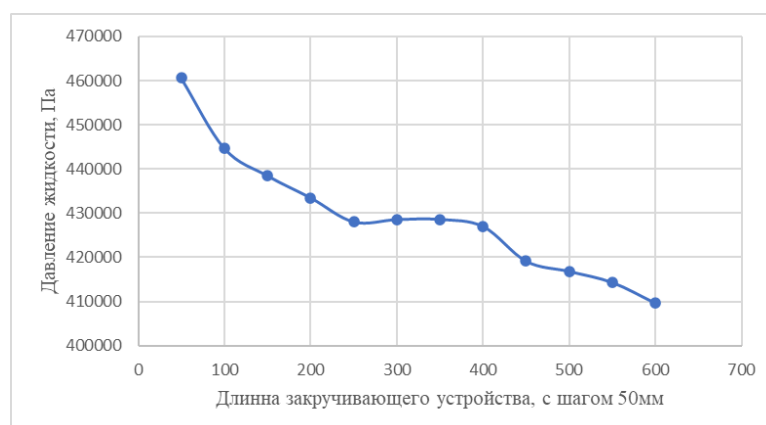


Рисунок 3.23 – График зависимости изменения давления жидкости на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 50 мм

На Рисунке 3.23 представлено падение давления на конце закручивающего устройства с шагом 50 мм в зависимости от количества витков: чем больше количество витков, тем больше происходит падение давления.

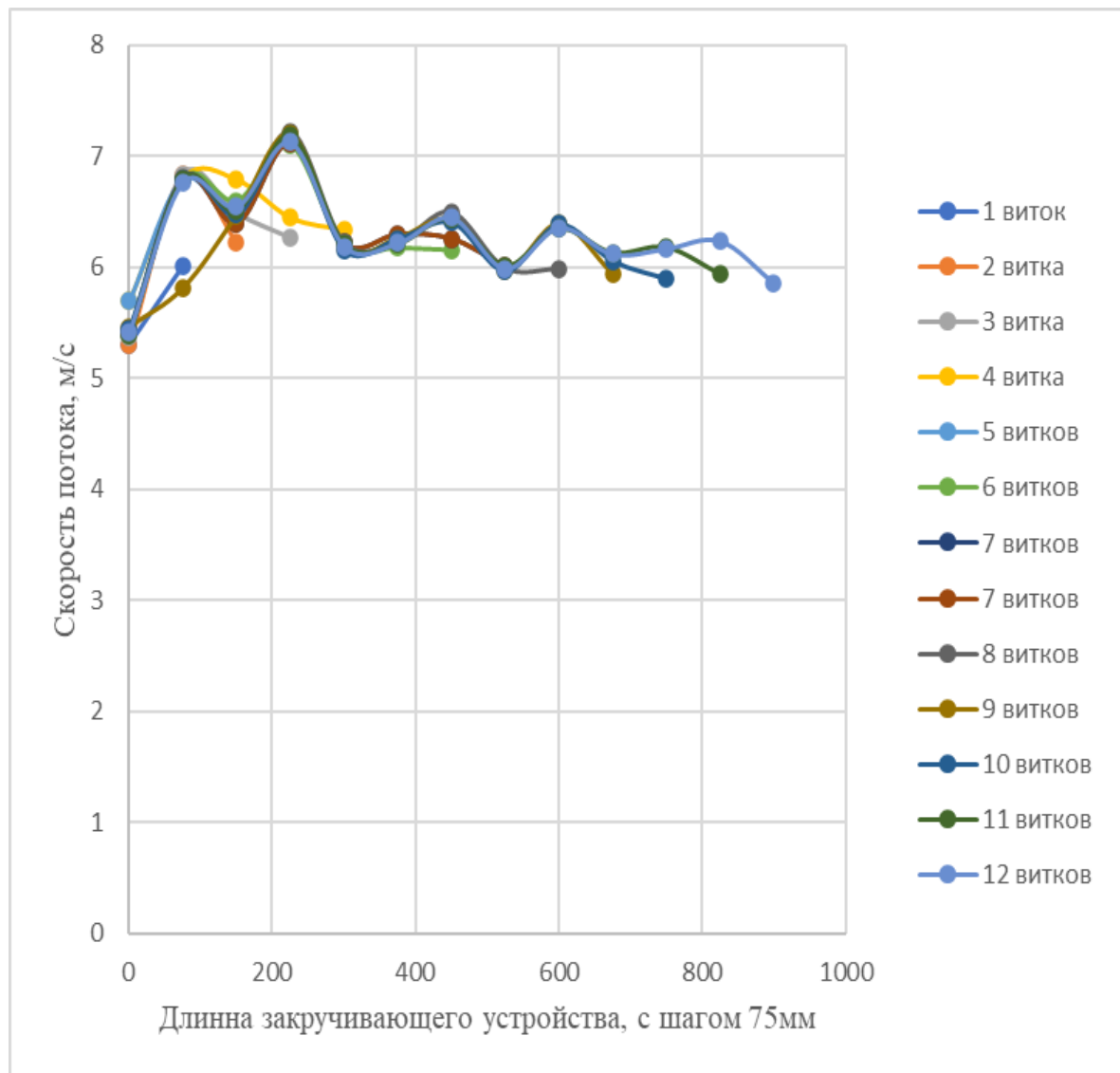


Рисунок 3.24 – График зависимости изменения скорости потока от длины закручивающего устройства с шагом 75 мм

На Рисунке 3.24 приведен построенный по данным Таблицы 3.6 график зависимости изменения скорости потока от длины закручивающего устройства с шагом 75 мм, на котором видно, что после каждого витка изучаемых закручивающих устройств длиной от 75 до 900 мм, и количеством витков от 1 до 12 обнаружены близкие по значению показатели скоростей после одинакового количества витков.

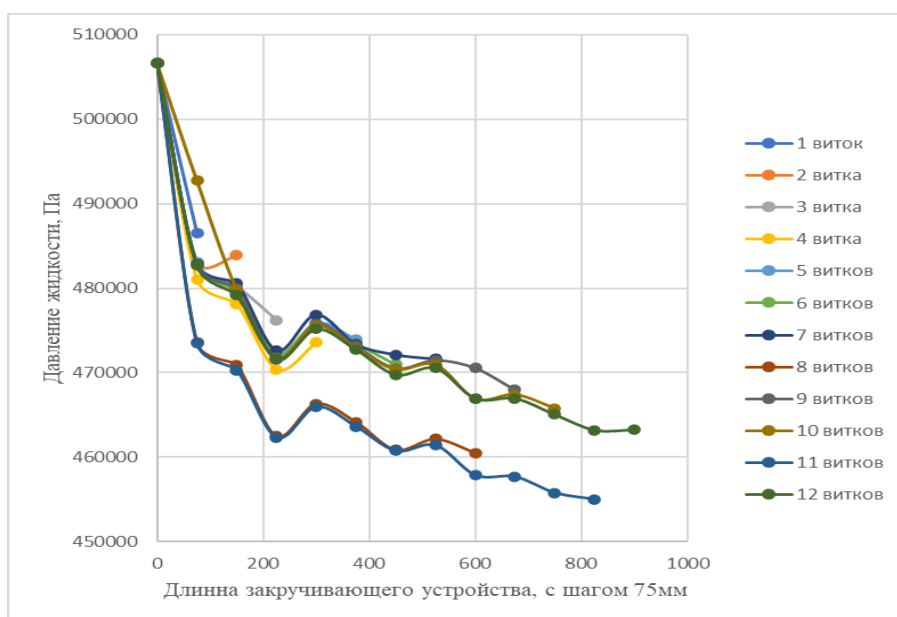


Рисунок 3.25 – График зависимости изменения давления потока на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 75 мм

Из Рисунка 3.25 видны изменения показателей давления, которые показывают близкие амплитудные значения после каждого витка закручивающего устройства, независимо от длины закручивающего устройства.

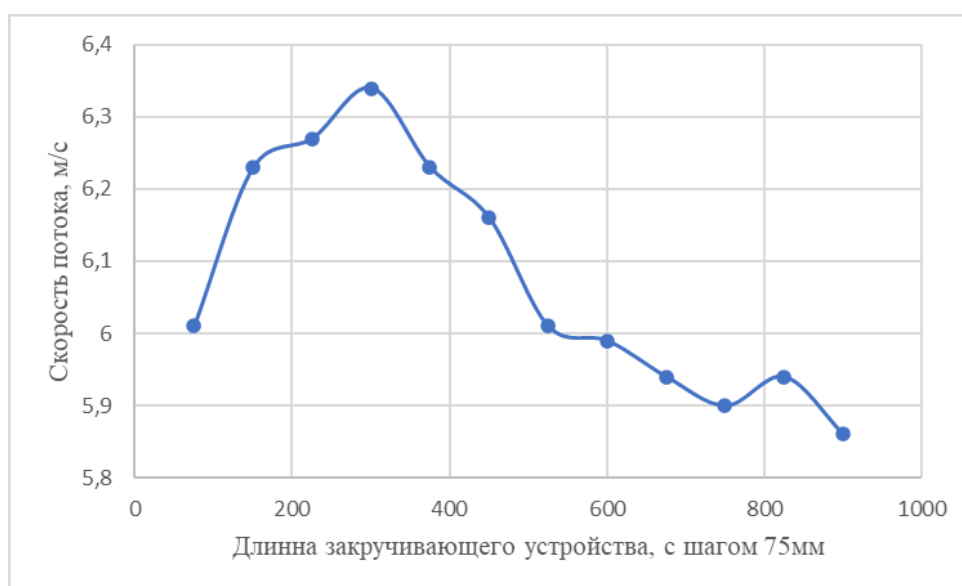


Рисунок 3.26 – График зависимости изменения скорости потока на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 75 мм

В ходе исследований скоростей жидкости (Рисунок 3.26), проходящей через закручивающее устройство с шагом 75 мм установлено, что максимальные значения скорости образовались в закручивающем устройстве длиной 300 мм, после 4 витка соответственно. Далее наблюдается некоторое снижение скорости.



Рисунок 3.27 – График зависимости изменения давления жидкости на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 75 мм

Из графика, представленного на Рисунке 3.27, видно падение давления на конце закручивающего устройства в зависимости от количества витков: чем больше количество витков, тем большее падение давления происходит, однако присутствуют более максимальные значения падения, которые регистрируются на 8 и 11 витке.

Таблица 3.7 – Результаты исследования показателей скоростей после каждого витка закручивающего устройства с шагом 100 мм

Количество витков	L,мм	P,Па	V,м/с	L,мм	P,Па	V,м/с	L,мм	P,Па	V,м/с	L,мм	P,Па	V,м/с	L,мм	P,Па	V,м/с	L,мм	P,Па	V,м/с	L,мм	P,Па	V,м/с	L,мм	P,Па	V,м/с	L,мм	P,Па	V,м/с	L,мм	P,Па	V,м/с	L,мм	P,Па	V,м/с			
0	0	506625	4,7	0	506625	4,7	0	506625	4,95	0	506625	4,78	0	506625	4,75	0	506625	4,76	0	506625	4,76	0	506625	4,78	0	506625	4,76	0	506625	4,78	0	506625	4,78	0	506625	4,81
1	100	494382	5,3	100	493053	5,68	100	492430	5,92	100	493288	5,64	100	492755	5,69	100	492671	5,7	100	492919	5,67	100	492924	5,67	100	484672	5,65	100	492799	5,65	100	492830	5,63	100	492843	5,64
2				200	492431	5,35	200	489594	5,83	200	490817	5,62	200	490683	5,58	200	490680	5,59	200	490817	5,58	200	490821	5,58	200	482276	5,61	200	490471	5,6	200	490560	5,59	200	490633	5,57
3						300	489643	5,36	300	490771	5,15	300	490615	5,53	300	490756	5,58	300	490887	5,6	300	490894	5,56	300	482430	5,53	300	490612	5,55	300	490503	5,57	300	490720	5,58	
4								400	488417	5,14	400	486636	5,11	400	486373	5,2	400	486703	5,22	400	486674	5,24	400	478449	5,21	400	486639	5,22	400	486340	5,23	400	486326	5,22		
5												500	487390	5,11	500	487353	5,16	500	487513	5,17	500	487480	5,17	500	479087	5,17	500	487196	5,17	500	487200	5,17	500	487264	5,16	
6														600	485724	5,1	600	485528	5,34	600	485459	5,34	600	476999	5,35	600	485239	5,33	600	485176	5,34	600	485340	5,31		
7																700	485469	5,1	700	484664	5,27	700	476301	5,26	700	484339	5,27	700	484431	5,24	700	484326	5,27			
8																					800	484006	5,1	800	475062	5,29	800	483363	5,26	800	483163	5,28	800	483295	5,26	
9																							900	474783	5,06	900	482077	5,3	900	482026	5,27	900	482070	5,27		
10																											1000	481970	5,02	1000	481180	5,23	1000	481185	5,23	
11																														1100	480493	5,04	1100	479721	5,3	
12																																1200	479542	5,01		

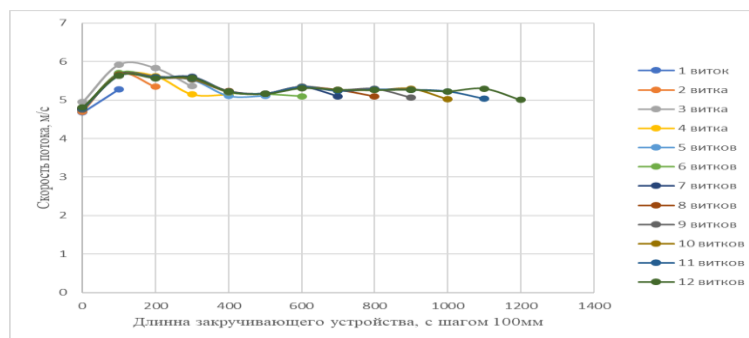


Рисунок 3.28 – График зависимости изменения скорости потока от длины закручивающего устройства с шагом 100 мм

На Рисунке 3.28 приведен построенный по данным Таблицы 3.7 график зависимости изменения скорости потока от длины закручивающего устройства с шагом 100 мм, на котором видно, что после каждого витка изучаемых закручивающих устройств длиной от 100 до 1200 мм, и количеством витков от 1 до 12 обнаружены близкие по значению показатели скорости после одинакового количества витков.

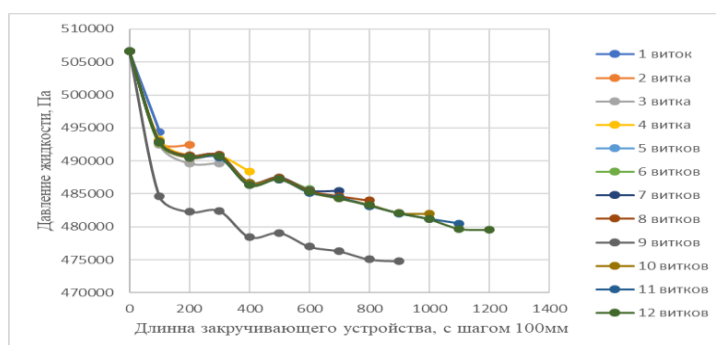


Рисунок 3.29 – График зависимости изменения давления потока на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 100 мм

Из графика, представленного на Рисунке 3.29, видны изменения давления, которые показывают близкие амплитудные значения после каждого витка закручивающего устройства, независимо от его длины.



Рисунок 3.30 – График зависимости изменения скорости потока на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 100 мм

В ходе исследований скорости жидкости (Рисунок 3.30), в закручивающем устройстве с шагом 100 мм видно, что максимальные значения образовались в закручивающем устройстве, длиной 300 мм, после 3 витка соответственно. Далее наблюдается некоторое снижение скорости.

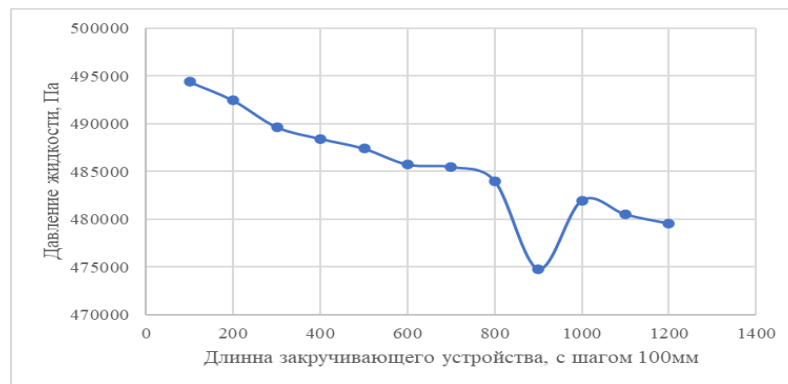


Рисунок 3.31 – График зависимости изменения давления жидкости на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 100 мм

Из графика, представленного на Рисунке 3.31, видно падение давления на конце закручивающего устройства в зависимости от количества витков: чем больше количество витков, тем большее падение давления происходит, однако присутствует более сильное падение на 9 витке.

Таблица 3.8 – Результаты исследования показателей скоростей после каждого витка закручивающего устройства с шагом 150 мм

Количество витков	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с	L, мм	P, Па	V, м/с			
0	0	506625	4,1	0	506625	4,38	0	506625	4,21	0	506625	4,18	0	506625	4,2	0	506625	4,18	0	506625	4,19	0	506625	4,2	0	506625	4,18	0	506625	4,19	0	506625	4,21	0	506625	4,19
1	150	500468	4,5	150	500310	4,77	150	500199	4,57	150	500229	4,57	150	500243	4,57	150	500133	4,57	150	500079	4,58	150	500274	4,57	150	500146	4,56	150	500216	4,56	150	500208	4,56	150	500144	4,56
2				300	498690	4,72	300	498628	4,57	300	498707	4,57	300	498747	4,56	300	498615	4,56	300	498603	4,56	300	498818	4,55	300	498625	4,56	300	498728	4,56	300	498725	4,54	300	498623	4,55
3						450	497697	4,43	450	497432	4,55	450	497457	4,56	450	497312	4,56	450	497336	4,56	450	497519	4,56	450	497350	4,56	450	497419	4,56	450	497462	4,55	450	497370	4,55	
4									600	497058	4,4	600	497030	4,4	600	496897	4,4	600	497020	4,39	600	497190	4,4	600	496997	4,4	600	497110	4,39	600	497158	4,38	600	497031	4,39	
5												750	495863	4,39	750	495535	4,48	750	495645	4,47	750	495881	4,46	750	495693	4,47	750	495794	4,46	750	495741	4,47	750	495614	4,48	
6															900	495078	4,38	900	494819	4,47	900	495054	4,46	900	494876	4,46	900	494966	4,46	900	494842	4,47	900	494742	4,47	
7																		1050	494219	4,36	1050	494119	4,46	1050	493919	4,46	1050	494024	4,46	1050	494005	4,45	1050	493890	4,45	
8																						1200	493539	4,35	1200	493046	4,45	1200	493167	4,46	1200	493145	4,45	1200	493049	4,45
9																									1350	492499	4,35	1350	492263	4,46	1350	492207	4,45	1350	492074	4,45
10																												1500	491737	4,35	1500	491295	4,45	1500	491158	4,45
11																															1650	490710	4,34	1650	490272	4,45
12																																	1800	489775	4,34	

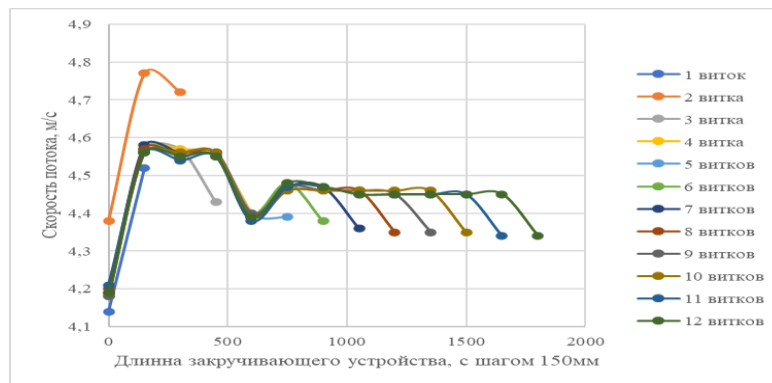


Рисунок 3.32 – График зависимости изменения скорости потока от длины закручивающего устройства с шагом 150 мм

На Рисунке 3.32 приведен построенный по данным Таблицы 3.8 график зависимости изменения скорости потока от длины закручивающего устройства с шагом 150 мм, на котором видно, что после каждого витка изучаемых закручивающих устройств длиной от 150 до 1800 мм, и количеством витков от 1 до 12 обнаружены близкие по значению показатели скорости после одинакового количества витков.

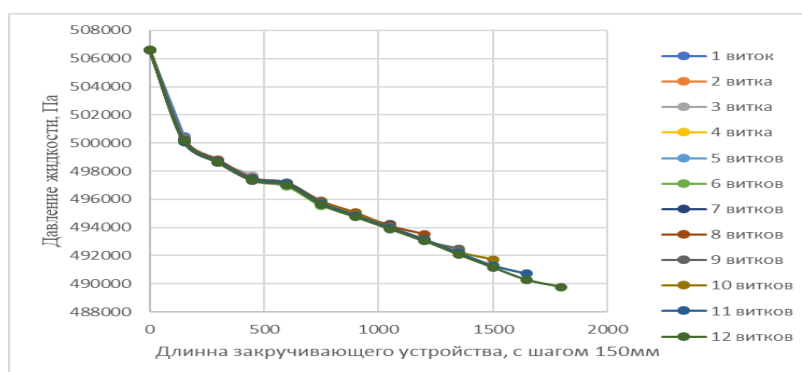


Рисунок 3.33 – График зависимости изменения давления потока на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 150 мм

Из графика, представленного на Рисунке 3.33, видны изменения показателей давления, которые показывают равные амплитудные значения после каждого витка закручивающего устройства, независимо от его длины.



Рисунок 3.34 – График зависимости изменения скорости потока на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 150 мм

В ходе исследований скорости жидкости, проходящей через закручивающее устройство с шагом 150 мм (Рисунок 3.34) видно, что максимальные значения скорости образовались в закручивающем устройстве, длиной 300 мм, после 2 витка соответственно. Далее наблюдается некоторое снижение скорости.

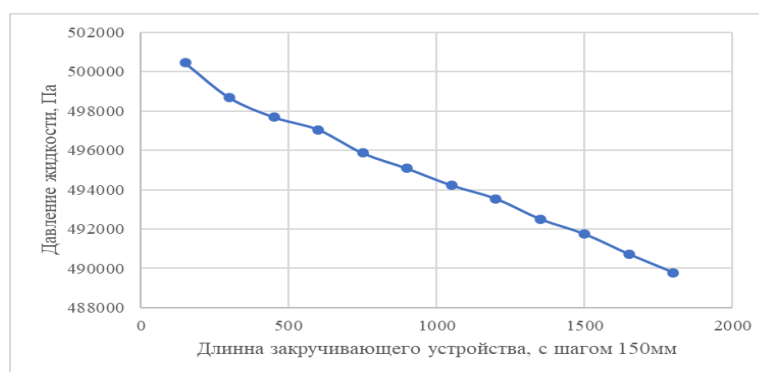


Рисунок 3.35 – График зависимости изменения давления жидкости на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 150 мм

Из графика, представленного на Рисунке 3.35, видно падение давления на конце закручивающего устройства в зависимости от количества витков: чем больше количество витков, тем большее падение давления происходит.

Таблица 3.9 – Результаты исследования показателей скоростей после каждого витка закручивающего устройства с шагом 300 мм

Количество витков	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с	L, мм		P, Па	V, м/с						
0	0	506625	3,9	0	506625	3,74	0	506625	3,75	0	506625	3,76	0	506625	3,77	0	506625	3,77	0	506625	3,79	0	506625	3,77	0	506625	3,79	0	506625	3,78	0	506625	3,78					
1	300	504140	4,1	300	504404	3,83	300	504295	3,83	300	504297	3,84	300	504297	3,83	300	504265	3,83	300	504333	3,83	300	504221	3,83	300	504361	3,82	300	504238	3,83	300	504518	3,82	300	504494	3,83		
2				600	503254	3,85	600	503266	3,81	600	503276	3,81	600	503260	3,81	600	503229	3,81	600	503296	3,81	600	503199	3,81	600	503274	3,82	600	503190	3,81	600	503390	3,83	600	503345	3,84		
3							900	502030	3,87	900	502241	3,8	900	502218	3,81	900	502217	3,8	900	502277	3,8	900	502174	3,81	900	502248	3,81	900	502188	3,8	900	502242	3,84	900	502269	3,83		
4										1200	500974	3,86	1200	501065	3,83	1200	501087	3,82	1200	501138	3,82	1200	501051	3,82	1200	501150	3,82	1200	501202	3,81	1200	501077	3,86	1200	501075	3,86		
5													1500	499993	3,84	1500	500071	3,81	1500	500123	3,81	1500	500028	3,82	1500	500130	3,81	1500	500060	3,81	1500	500034	3,86	1500	500104	3,83		
6													1800	499031	3,84	1800	499173	3,79	1800	499044	3,8	1800	499141	3,81	1800	499092	3,8	1800	499030	3,83	1800	499034	3,83					
7																2100	498040	3,83	2100	498033	3,8	2100	498098	3,81	2100	498053	3,8	2100	497921	3,84	2100	497950	3,84					
8																					2400	497035	3,82	2400	497072	3,82	2400	497046	3,8	2400	496990	3,81	2400	496993	3,8			
9																							2700	496032	3,82	2700	495996	3,8	2700	495890	3,81	2700	495893	3,8				
10																											3000	494935	3,83	3000	494864	3,79	3000	494876	3,79			
11																														3300	493700	3,83	3300	493748	3,81			
12																																	3600	492647	3,84			

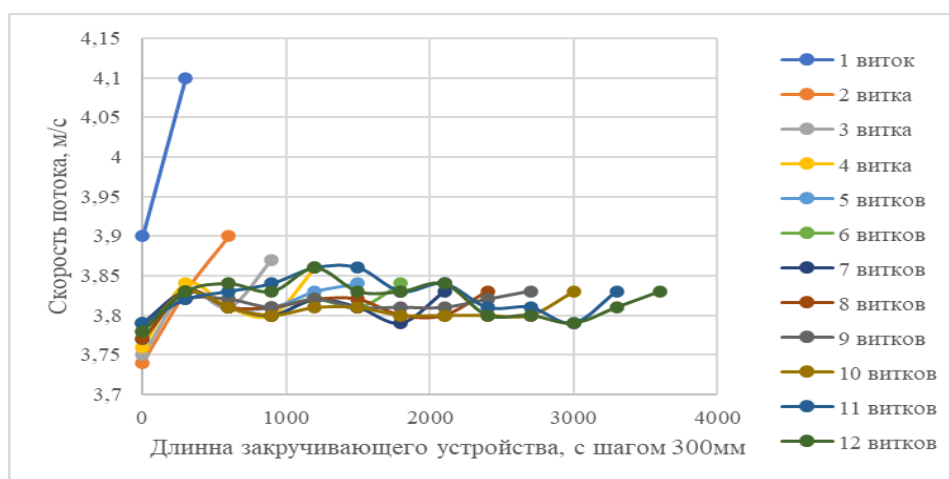


Рисунок 3.36 – График зависимости изменения скорости потока от длины закручивающего устройства с шагом 300 мм

На Рисунке 3.36 приведен построенный по данным Таблицы 3.9 график зависимости изменения скорости потока от длины закручивающего устройства с шагом 300 мм, на котором видно, что после каждого витка изучаемых закручивающих устройств длиной от 300 до 3600 мм, и количеством витков от 1 до 12 обнаружены близкие по значению показатели скорости после одинакового количества витков.

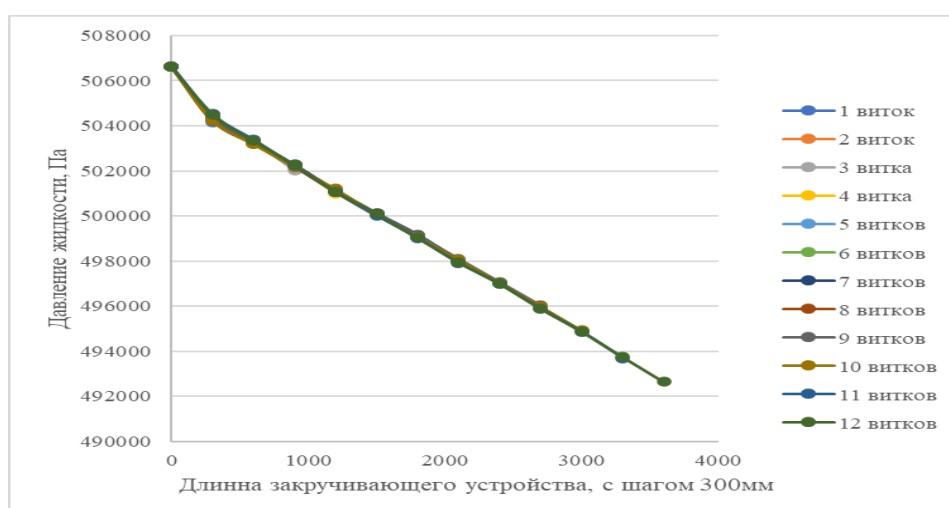


Рисунок 3.37 – График зависимости изменения давления потока на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 300 мм

Из графика, представленного на Рисунке 3.37, видны изменения показателей давления, которые показывают близкие значения после каждого витка закручивающего устройства, независимо от его длины.



Рисунок 3.38 – График зависимости изменения скорости потока на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 300 мм

В ходе исследований скоростей жидкости, проходящей через закручивающее устройство с шагом 300 мм (Рисунок 3.34) видно, что максимальные значения скорости образовались в закручивающем устройстве, длиной 300 мм, после 3 витка соответственно. Далее на 2 витке наблюдается значительное снижение скорости, которое в последующем выравнивается.



Рисунок 3.39 – График зависимости изменения давления жидкости на конце закручивающего устройства от его длины с шагом 300 мм

Из графика, представленного на Рисунке 3.39, видно падение давления на конце закручивающего устройства в зависимости от количества витков: чем больше количество витков, тем большее падение значения давления происходит.

Выводы по главе 3

1. Опытным путем определено количество витков закручивающего устройства, обеспечивающее максимальные значения скорости потоков жидкости на выходе из трубы. Доказано, что создание вихревых потоков оказывает определенное влияние на увеличение скорости в отличие от номинальных значений скорости без него.

2. Проведен анализ зависимости изменения скорости потока на конце закручивающего устройства от количества витков и получены результаты.

3. Получена функция значений и степенная зависимость для определения числового значения скорости потока через каждый виток закручивающего устройства в зависимости от его шага.

4. Исследована зависимость изменения скорости потока от количества витков закручивающего устройства, а также получены его числовые значения.

5. Предложен способ решения задачи по повышению эффективности подачи огнетушащего вещества за счет увеличения его дальности подачи, что в свою очередь приведет к повышению эффективности тушения пожара и снижению воздействия опасных факторов пожара на участников тушения пожара.

ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ

Предлагаемый способ создания вихревых потоков (с помощью использования закручивающих устройств) работает следующим образом [71 - 81]: подаваемое огнетушащее вещество проходит через закручивающее устройство (Рисунок 4.1), вмонтированное в трубу (Рисунок 4.2). Оптимальные характеристики закручивающего устройства и трубы для проведения мероприятий по экспериментальному исследованию вихревых потоков определены в п. 3.5. Исходя из полученных исследовательских данных, определены оптимальные значения закручивающего устройства (шаг, количество витков) и длина трубной части.

Для проведения эксперимента взято закручивающее устройство с шагом 25 мм, длиной 100 мм, а также труба, диаметр которой позволяет навернуть на нее соединительную головку с условным проходом 51 мм.

При изготовлении опытных образцов применялся пластик с использованием 3D-принтера [82].

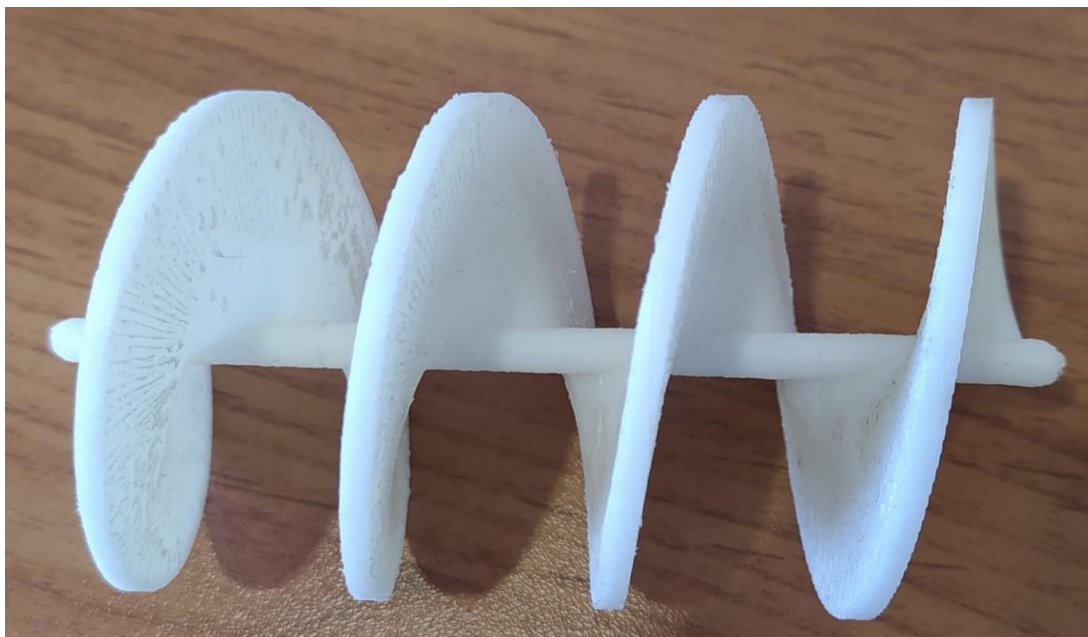


Рисунок 4.1 – Закручивающее устройство длиной 100 мм, количеством витков 4 и шагом 25 мм



Рисунок 4.2 – Труба длиной 100 мм



Рисунок 4.3 – Опытный образец закручивающего устройства

Опытный образец, представленный на Рисунке 4.4, представляет собой трубу, в полость которой помещено закручивающее устройство (Рисунок 4.3), с необходимыми параметрами шага, а также общей длины. Данное изделие предназначено для непосредственного осуществления завихрения жидкости.



Рисунок 4.4 – Опытная сборка закручивающего устройства

На дальность подачи огнетушащего вещества влияют такие параметры, как: угол подачи огнетушащего вещества, вид подаваемого огнетушащего вещества, форма струи, конструктивные особенности пожарных стволов и т.д. На Рисунке 4.5 представлена схема оптимального угла подачи огнетушащего вещества, позволяющий максимально обеспечить дальность подачи огнетушащего вещества, используя то или иное пожарное оборудование.

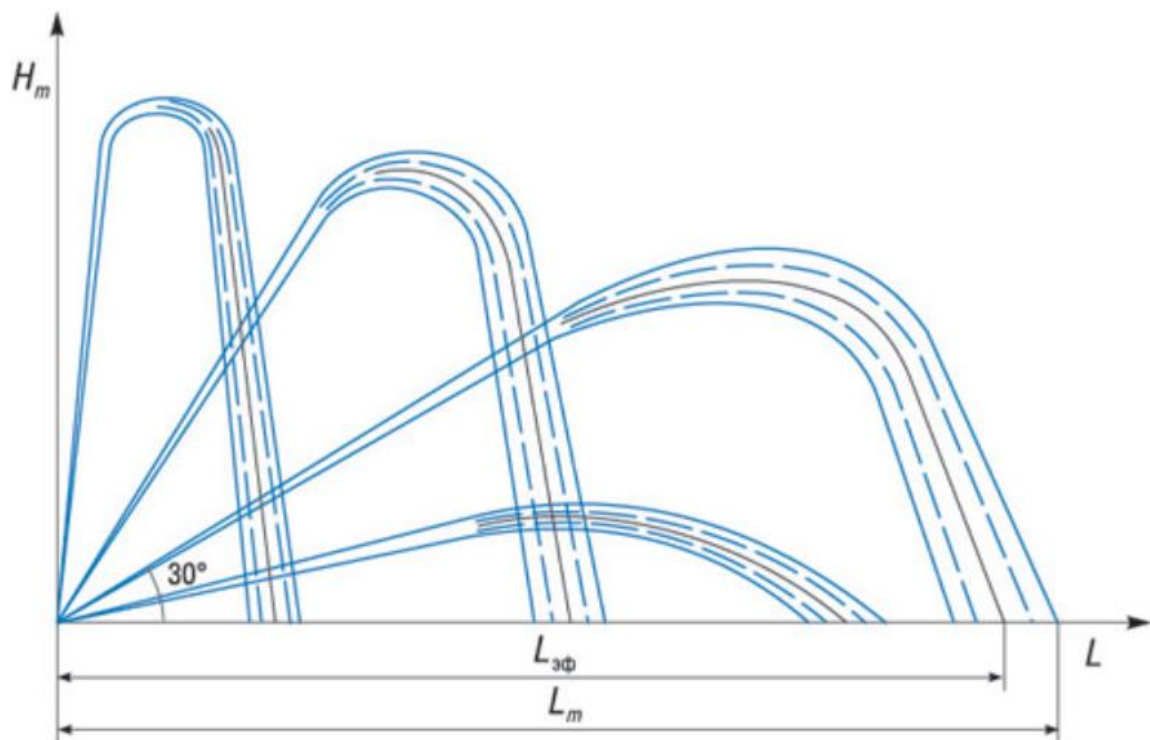


Рисунок 4.5 – Схема зависимости дальности подачи огнетушащего вещества от угла подачи струи

Для проведения эксперимента с опытным образцом, представленного на Рисунке 4.4, необходимо использовать его как переходное устройство между рукавом и уже существующими ручными пожарными стволами. В проводимых экспериментах для сравнения дальности подачи огнетушащего вещества использовались уже существующие ручные пожарные стволы РСКУ-50А, РСК-50, Курс-8И, ИТС-50-8.

Представленные стволы являются комбинированными, универсальными, перекрывными, с возможностью регулировать расход и форму струи, а также предназначены для формирования сплошной, либо распыленной (с изменяемым углом факела) струей воды и воздушно-механической пены низкой кратности.

Испытание заключалось в том, что сначала определялась дальность подачи воды пожарных стволов, подсоединенных с помощью пожарного рукава к насосу пожарной автоцистерны. Затем между пожарными стволами и пожарным рукавом присоединялся опытный образец. Апробация опытного образца проводилась с учетом оптимального угла подачи огнетушащего вещества, который составляет 30^0 к горизонту. Используемый пожарный насос является самым распространенным. Соблюдения данных условий необходимы для обеспечения результатов, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации различного рода приборов пожаротушения. Для чистоты эксперимента берутся разные ручные пожарные стволы с одинаковым условным проходом. В испытуемые образцы уже внедрены различного рода конструктивные изменения, поэтому одной из основных задач при испытании закручивающего устройства будет сравнение работы пожарных стволов в сочетании с вихревыми движениями жидкостей, образуемых с помощью опытного образца.

Таблица 4.1 – Результаты исследования дальности подачи огнетушащего вещества из ручного пожарного ствола РСКУ-50А

Давление огнетушащего вещества перед ручным пожарным стволом, атм	Дальность подачи огнетушащего вещества без образца, м	Дальность подачи огнетушащего вещества с образцом, м
4	30	34
5	32	36
6	34	38

Таблица 4.2 – Результаты исследования дальности подачи огнетушащего вещества из ручного пожарного ствола РСК-50

Давление огнетушащего вещества перед ручным пожарным стволом, МПа	Дальность подачи огнетушащего вещества без образца, м	Дальность подачи огнетушащего вещества с образцом, м
0,4	26	31
0,5	28	33
0,6	30	35

Таблица 4.3 – Результаты исследования дальности подачи огнетушащего вещества из ручного пожарного ствола Курс-8И

Давление огнетушащего вещества перед ручным пожарным стволом, МПа	Дальность подачи огнетушащего вещества без образца, м	Дальность подачи огнетушащего вещества с образцом, м
0,4	31	35
0,5	33	37
0,6	35	39

Таблица 4.4 – Результаты исследования дальности подачи огнетушащего вещества из ручного пожарного ствола ИТС-50-8

Давление огнетушащего вещества перед ручным пожарным стволом, МПа	Дальность подачи огнетушащего вещества без образца, м	Дальность подачи огнетушащего вещества с образцом, м
0,4	30	35
0,5	32	37
0,6	34	39

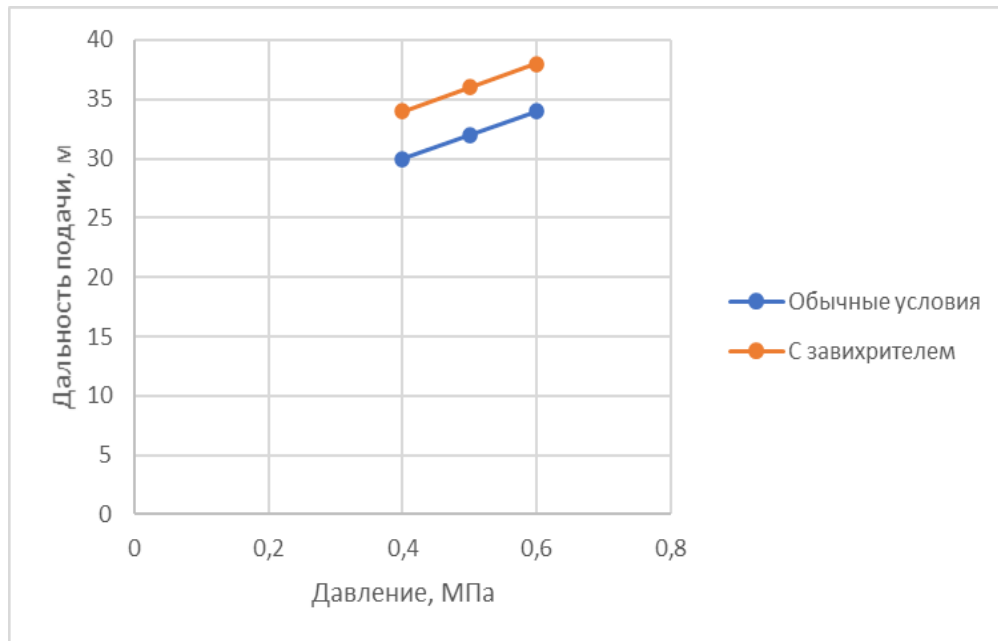


Рисунок 4.5 – Зависимость дальности подачи огнетушащего вещества у ручного пожарного ствола РСКУ-50А от давления подаваемой жидкости

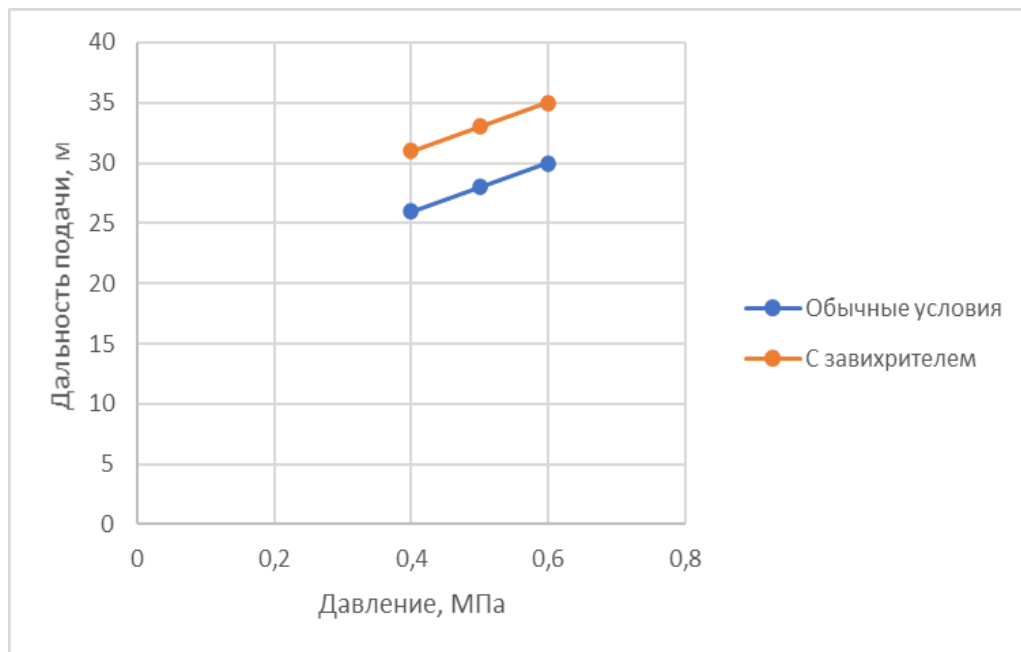


Рисунок 4.6 – Зависимость дальности подачи огнетушащего вещества у ручного пожарного ствола РСК-50 от давления подаваемой жидкости

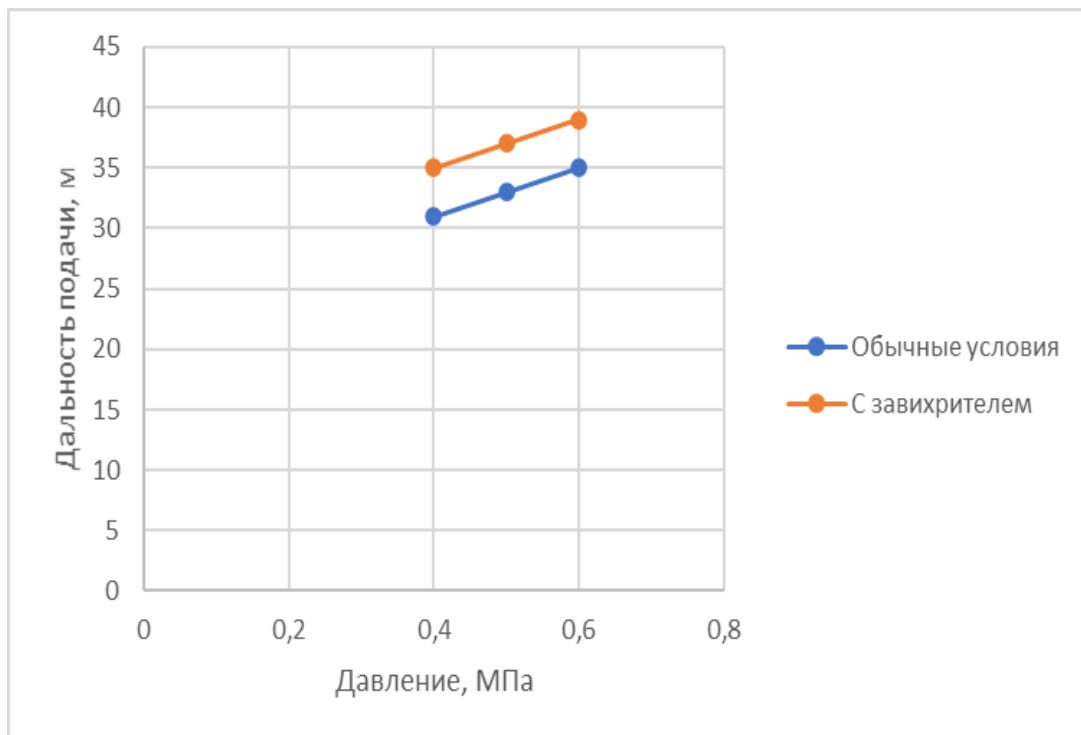


Рисунок 4.7 – Зависимость дальности подачи огнетушащего вещества у ручного пожарного ствола Курс-8И от давления подаваемой жидкости

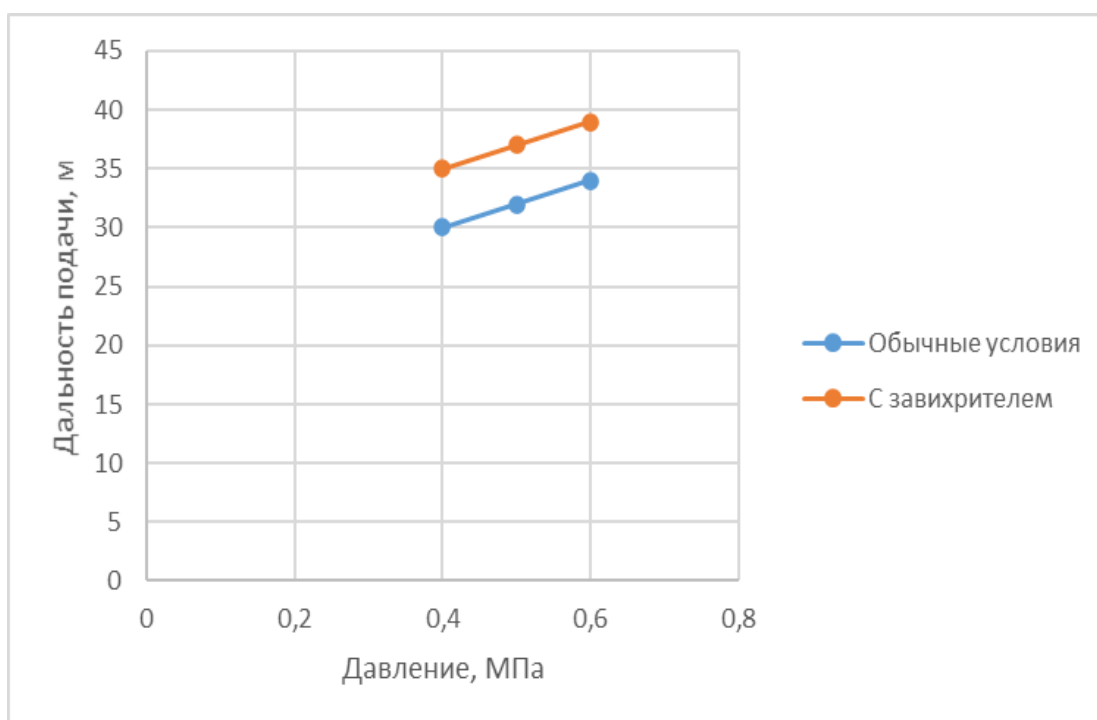


Рисунок 4.8 – Зависимость дальности подачи огнетушащего вещества у ручного пожарного ствола ИТС-50-8 от давления подаваемой жидкости

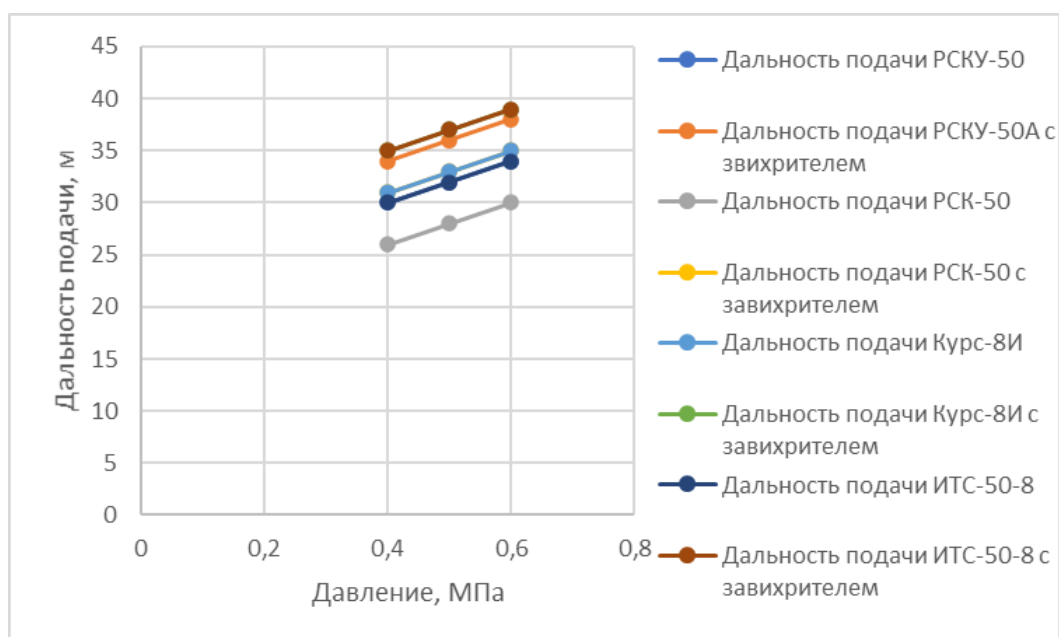


Рисунок 4.9 – График зависимости изменения дальности подачи воды пожарного ствола с опытным образцом

Таблица 4.5 – Совмещенные результаты исследования показателей дальности подачи огнетушащего вещества из ручных пожарных стволов

Марка ручного ствола	Давление огнетушащего вещества перед ручным пожарным стволом, МПа	Дальность подачи огнетушащего вещества без образца, м	Дальность подачи огнетушащего вещества с образцом, м
РСКУ-50А	0,4	30	34
	0,5	32	36
	0,6	34	38
РСК-50	0,4	26	31
	0,5	28	33
	0,6	30	35
Курс-8И	0,4	31	35
	0,5	33	37
	0,6	35	39
ИТС-50-8	0,4	30	35
	0,5	32	37
	0,6	34	39

Для проведения эксперимента опытный образец, представленный на Рисунке 4.3, использовался как переходное устройство между рукавом и уже существующими ручными пожарными стволами. В проводимых экспериментах использовались уже существующие ручные пожарные стволы РСКУ-50А, РСК-50, Курс-8И, ИТС-50-8 для сравнения дальности подачи огнетушащего вещества.

Результаты испытания опытного образца показали максимальный эффект в сочетании с ручным пожарным стволом РСК-50. Это связано с тем, что данный прибор пожаротушения является классическим примером традиционного ствола, не подвергавшегося модернизации. Остальные образцы являются уже представителями современных модернизированных ручных пожарных стволов, в конструкции которых применены различного рода конструктивные изменения, позволяющие увеличить дальность подачи огнетушащего вещества. Это объясняет, почему ствол РСК-50 получил максимальные показатели.

Выводы по главе 4

Проведены практические испытания опытного образца в сочетании с ручными пожарными стволами РСКУ-50А, РСК-50, Курс-8И, ИТС-50-8. Получены определенные результаты:

- испытание опытного образца со стволом РСКУ-50А показало увеличение дальности подачи воды на 13 %;
- испытание опытного образца со стволом РСК-50 показало увеличение дальности подачи воды на 19 %;
- испытание опытного образца со стволом Курс-8И показало увеличение дальности подачи воды на 13 %;
- испытание опытного образца со стволом ИТС-50-8 показало увеличение дальности подачи воды на 15 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе анализа пожарных стволов, имеющих на вооружении пожарных подразделений, определили их слабые и сильные стороны как с точки зрения эффективности тушения пожаров, так и с точки зрения эргономики, надежности при эксплуатации, достоинства и преимущества. Установлено, что необходимо постоянно модернизировать современные пожарные стволы, для того, чтобы максимально увеличивать эффективность их работы, несмотря на постоянно растущее использование строительных материалов, горение которых сопровождается выделением большого количества отравляющих веществ с высокой концентрацией и при этом резко увеличивается воздействие опасных факторов пожара на людей, оказавшихся в этих зонах, а также участников тушения пожаров.

2. Сформирован критерий позволяющий осуществить достоверную количественную оценку изменения скорости потока, в зависимости от шага закручивающего устройства и его радиуса.

3. Проведены исследования вихревых потоков, а также исследования изменений скоростей и давлений движущейся жидкости с помощью программного обеспечения Solidworks, позволившие визуализировать увеличение данных параметров.

4. Проведены экспериментальные исследования и испытания действующих пожарных стволов с использованием опытных образцов, во внутреннюю часть устройства которых смонтированы пластины, либо закручивающее устройство. Определена возможность увеличения дальности подачи огнетушащих веществ при использовании вихревых потоков в пожарных стволах.

5. Проведены исследования по определению параметров получения максимальных числовых значений скорости движения жидкости. В ходе исследования получены данные по оптимальному количеству витков в закручивающем устройстве, шаге и общей его длине, данные показатели необходимы для проведения экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2008 году: статистический сборник / под ред. Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2008. – 137 с.
2. Водяные ручные пожарные стволы / Fireman.club. Клуб пожарных и спасателей. – [Электронный ресурс] – URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/vodyanye-ruchnye-pozharnye-stvoly> (Дата обращения 25.06.2023).
3. Ручные пожарные стволы ОПТ-50, ОПТ-50а (комбинированные). ТТХ, принцип действия, из чего состоит, подробные характеристики / Fireman.club Клуб пожарных и спасателей. – [Электронный ресурс] – URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/ruchnye-pozharnye-stvoly-ort-50-ort-50a-kombinirovannye-ttx-princip-dejstviya-iz-chego-sostoit-podrobnye-harakteristiki> (Дата обращения 25.06.2023).
4. Современные ручные стволы для огнеборцев / firerobots.ru официальный сайт производителя пожарной техники. – [Электронный ресурс] – URL: http://www.firerobots.ru/ru/press-center/info/item_5635.html (Дата обращения 25.06.2023).
5. Пожарные стволы / Пожара Нет! Способы предупреждения пожара. – [Электронный ресурс] – URL: <https://pozharanet.com/pozharnoe-oborudovanie/inventar/pozharnye-stvoly.html> (Дата обращения 25.06.2023).
6. Четыре подхода к тактике тушения пожаров / livejournal. – [Электронный ресурс] – URL: <https://fireguards.livejournal.com/83797.html> (Дата обращения 25.06.2023).
7. Ганеев, Р.А. Использование вихревых потоков жидкости в приборах пожаротушения / Р.А. Ганеев // Сборник материалов конференции «73-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ». – Уфа, УГНТУ, 2022. – С. 122.
8. Ручной ствол Turbo Twist / Арсенал ПТВ. Техника чрезвычайных ситуаций. – [Электронный ресурс] – URL: http://arsenal-ptv.ru/catalog/turbo_twist (Дата обращения 25.06.2023).

9. Ганеев, Р.А. Использование вихревых потоков жидкости в приборах пожаротушения / Р.А. Ганеев // Сборник материалов конференции «73-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ». – Уфа, УГНТУ, 2022. – С. 123.
10. Ганеев, Р.А. Использование вихревых потоков жидкости в приборах пожаротушения / Р.А. Ганеев // Сборник материалов конференции «73-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ». – Уфа, УГНТУ, 2022. – С. 124.
11. Ганеев, Р.А. Использование вихревых потоков жидкости в приборах пожаротушения / Р.А. Ганеев // Сборник материалов конференции «73-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ». – Уфа, УГНТУ, 2022. – С. 125.
12. Новые разработки передовых производителей пожарной техники / Системы безопасности. – [Электронный ресурс] – URL: <http://secuteck.ru/articles2/firesec/gidravlichesкое-pozharnoe-oborudovanie-tendencii-razvitiya> (Дата обращения 25.06.2023).
13. Ручные пожарные стволы DELTA H500, DM 600, ATTACK 500 и 750: описание и ТТХ / Fireman.club Клуб пожарных и спасателей. – [Электронный ресурс] – URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/ruchnye-pozharnye-stvoly-delta-h500-dm-600-attack-500-i-750-opisanie-i-ttx> (Дата обращения 25.06.2023).
14. Определение времени свободного развития пожара / Студопедия. – [Электронный ресурс] – URL: https://studopedia.ru/10_184319_opredelenie-vremeni-svobodnogo-razvitiya-pozhara.html (Дата обращения 25.06.2023).
15. Проверка обеспеченности объекта водой для целей пожаротушения Проверка обеспеченности объекта водой для целей пожаротушения / Студопедия. – [Электронный ресурс] – URL: https://studopedia.ru/10_184320_proverka-obespechennosti-ob-ekta-vodoy-dlya-tseley-pozharotusheniya.html (Дата обращения 25.06.2023).
16. Определение предельной длины прокладки магистральных рукавных линий / Студопедия. – [Электронный ресурс] – URL:

https://studopedia.ru/10_184321_opredelenie-predelnoy-dlini-prokladki-magistralnih-rukavnihi-linii.html (Дата обращения 25.06.2023).

17. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ. Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444. – 90 с. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71746130> (Дата обращения 25.06.2023).

18. Определение необходимого количества личного состава / Студопедия – [Электронный ресурс] – URL: https://studopedia.ru/10_184322_opredelenie-neobhodimogo-kolichestva-lichnogo-sostava.html (Дата обращения 25.06.2023).

19. Ищенко, А.Д. Совершенствование организации и управления силами и средствами пожарно-спасательного гарнизона / Р.В. Мордовцев, М.А. Шурыгин // Технологии техносферной безопасности. – 2018. – Вып. 1(77). – С. 22-31. – [Электронный ресурс] – URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2018-1/08-01-18.ttb.pdf> (Дата обращения 25.06.2023).

20. Тетерин, И.М. Системы поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров. / И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский, Ю.В. Прус, В.М. Климовцов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. – 102 с.

21. Подгрушный, А.В. Четыре подхода к тактике тушения пожаров / А.В. Подгрушный. // Материалы 12-й научно-технической конференции «Системы безопасности». – СБ-2003. М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – С. 22-31. – http://ipb.mos.ru/konf/2003/sb-2003/sec_2.html.

22. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

23. Повзик, Я.С. Справочник руководителя для тушения пожара / Я.С. Повзик. – М.: Спецтехника, 2004. – 361 с.

24. Кошмаров, Ю.А. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле / Ю.А. Кошмаров, М.П. Башкирцев. – ВИПТШ МВД СССР, 1987. – 440 с.

25. Кошмаров, Ю.А. Экспериментальные исследования теплового воздействия пламени / Ю.А. Кошмаров, Я. Решетар, В.Г. Лимонов // Противопожарная защита объектов народного хозяйства. – М.: ВИПТШ, 1979. – С. 82-87.
26. Давлетьяров, Ф.А. Нефтепродуктообеспечение / Ф.А. Давлетьяров, Е.И. Зоря, Д.В. Цагарели; под ред. д.т.н., проф. Д.В. Цагарели. – М.: ИЦ «Математика», 1998. – С. 42-90.
27. Пожарные риски. Выпуск 2. Динамика пожарных рисков / под ред. Н.Н. Брушлинского. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2005. – 82 с.
28. Пожарные риски. Выпуск 4. Управление пожарными рисками / под ред. Н.Н. Брушлинского и Ю.Н. Шебеко. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2006. – 148 с.
29. Stewart, D. A Platform with Six Degrees of Freedom // Proc. Institute of Mechanical Engr. 1965. – Vol. 180. – pp. 371-386.
30. Монахов, В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ / В.Т. Монахов. – М.: Химия, 1972. – 416 с.
31. Хабибулин, Р.Ш. Конечно-элементарное моделирование теплового состояния резервуара в условиях воздействия лучистых тепловых потоков пожара / Р.Ш. Хабибулин // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 4. – С. 40-42.
32. Сучков В.П. Анализ пожаров на эстакадах налива нефтепродуктов в автомобильные цистерны / В.П. Сучков // Транспорт и хранение нефтепродуктов: НТИС. – М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1995. – № 9. – С. 11-13.
33. Сучков В.П., Джумагалиев Р.М. Принципы обеспечения живучести технологических аппаратов в условиях пожара. Опасные факторы пожара и противопожарная защита. – Сб. науч. тр. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1989. – С. 8-13.
34. Ищенко, А.Д. К вопросу оптимизации подготовки местных пожарноспасательных гарнизонов к работе в непригодной для дыхания среде / М.А. Шурыгин, А.И. Нюганен // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – № 3. – С. 72-78.
35. Терещев В.В. Справочник руководителя тушения пожара 2004. – М.: Пожкнига, 2004. – 245 с.

36. Об утверждении Устава подразделений пожарной охраны. Приказ МЧС России от 20 октября 2017 г. № 452. – 18 с. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71733066> (Дата обращения 25.06.2023).
37. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2000. – 576 с.
38. Фабрикант Н. Я. Аэродинамика. – М.: Наука, 1964. – 814 с.
39. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. – Л.: Наука, 1969. – 487 с.
40. Океанология. Физика океана. Т. I. Гидрофизика океана. Под ред. Мониной А.С и Каменковича В.М. – М.: Наука, 1978. – 466 с.
41. Алексеенко С.В., Куйбин П.А., Окулов В.Л. Введение в теорию концентрированных вихрей. Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе. - Новосибирск: Ин-т теплофизики СО РАН, 2003. – 503 с.
42. Lugt H.J. Introduction to Vortex Theory. By H.J. Lugt Flow Press, Potomas, MD, USA, 1996. – 627 p.
43. Пуанкаре А. Теория вихрей. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2000. – 160 с.
44. Козлов В.В. Общая теория вихрей. – Ижевск: Удмуртский университет, 1998. – 238 с.
45. Степанова Е.В., Чашечкин Ю.Д. Анизотропный перенос примеси в составном вихре // Доклады АН, 2008. – Т. 423, – № 4. – С. 474-478.
46. Вихри и волны: – Сб. ст.: Пер. с англ / Под ред. В.Н. Николаевского. – М.: Мир, 1984. – 336 с.
47. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика. – М.: Мир, 1964. – 264 с.
48. Вилля Г. Теория вихрей. – М.: КомКнига, – 2006. – 264 с.
49. Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Гидродинамика. 3-е изд.испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 736 с.
50. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. – М.: Мир, 1973. – 758 с.
51. Конвективный теплообмен летательных аппаратов: учебное пособие / под редакцией Б. А. Землянского. – М.: Физматлит, 2014. – 380 с.

52. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
53. Монин А. С., Яглом А. М., Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности, ч. 1-2, – М.: Наука, 1965. – 641 с.
54. Цытович В. Н., Теория турбулентной плазмы. – М.: Атомиздат, 1971. – 423 с.
55. Рабинович М.И., Сущик М.М. Регулярная и хаотическая динамика структур в течениях жидкости // УФН, 1990. – Т. 60, – № 1. – С.3-64.
56. Sreenivasan K. R., Fractals and multifractals in fluid turbulence, «Ann. Rev. Fluid Mech.», 1991. – Vol. 23, – p. 539.
57. Чашечкин Ю.Д., Байдулов В.Г., Бардаков Р.Н., Васильев А.Ю., Кистович А.В., Миткин В.В., Прохоров В.Е., Степанова Е.В. Механика свободных стратифицированных течений // Препринт ИПМех РАН № 876. М.: ИПМех РАН. – 2008. – 127 с.
58. Некрасов Б.Б. Гидравлика и её применение в летательных аппаратах. М.: Машиностроение, 1967. – 364 с.
59. Ганеев, Р.А. Использование вихревых потоков жидкости в приборах пожаротушения / Р.А. Ганеев // Сборник материалов конференции «73-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ». – Уфа, УГНТУ, 2022. – С. 121.
60. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
61. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. – М.: Мир, 1964. – 216 с.
62. Математическая модель движения огнетушащей жидкости в проточном тракте лафетного ствола с винтовой структуризацией потока / И. В. Качанов [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 2. – С. 156-164.
63. Карпенчук И.В., Шатило Э.Э. Математическая модель движения растворов пенообразователей, подчиняющихся степенному реологическому закону // Вестник КИИ. – 2011. – № 2 (14). – С. 49-54.
64. Ясинский Ф.Н., Евсеев А.В. О решении уравнения Навье-Стокса в переменных «Функции тока – вихрь» на многопроцессорной вычислительной

- машине с использованием системы СИДА. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. Вестник ИГУ, 2010. – № 3 – С. 73 – 75.
65. Ганеев, Р.А. Совершенствование элементов конструкции приборов пожаротушения для создания вихревых потоков / Р.А. Ганеев, И.Ф. Хафизов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2021. – №4. – С. 22-31.
66. Ганеев, Р.А. Использование вихревых потоков в приборах пожаротушения / Р.А. Ганеев, И.Ф. Хафизов, Ф.Ш. Хафизов // Научный электронный журнал «Техносферная безопасность». – 2021. – № 2. – С. 82 – 86.
67. Ганеев, Р.А. Исследование изучения вихревых потоков жидкости в приборах пожаротушения / Р.А. Ганеев // Сборник материалов конференции «69-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ». – Уфа, УГНТУ, 2018. – С. 291.
68. Ганеев, Р.А. Исследование изменения скорости потока жидкости при изменении количества витков шнека / Р.А. Ганеев, И.Ф. Хафизов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2022. – № 2. – С. 40-48.
69. Ганеев, Р.А. Использование вихревых потоков в приборах пожаротушения / Р.А. Ганеев // Всероссийская научно-практическая конференция «Инновации в области пожаротушения и проведения АСР». – 2021. – С. 7.
70. Ганеев, Р.А. Модернизация потоков жидкости в приборах пожаротушения для повышения эффективности тушения пожаров / Р.А. Ганеев // Всероссийская научно-практическая конференция «Инновации в области пожаротушения и проведения АСР». – 2021. – С. 7.
71. ГОСТ 10704-91. Межгосударственный стандарт. Трубы стальные электросварные прямошовные. – М.: Росстандарт, 2015. – 216 с.
72. Паспорт и руководство по эксплуатации. Стволы пожарные ручные универсальные с регулируемым расходом КУРС-8. – Воронеж: ООО НПО «Орт», 2015. – 8 с.
73. Паспорт и руководство по эксплуатации. Стволы пожарные ручные универсальные с комбинированным расходом ИТС-50-8. – Москва: ООО «ИТС», 2012. – 7 с.

74. ГОСТ Р 51115-97. Техника пожарная. Стволы пожарные лафетные. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: Росстандарт, 1999. – 15 с.
75. ГОСТ 34778-2021. Техника пожарная. Стволы пожарные лафетные. Общие технические требования. Методы испытаний. Межгосударственный стандарт. – М.; Российский институт стандартизации, 2022. – 12 с. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200011368> (Дата обращения 25.06.2023).
76. Актуальные вопросы обеспечения безопасности процессов транспортировки и хранения нефти и нефтепродуктов / Кокорин В.В., Контобойцев Е.А., Контобойцева М.Г., Хафизов Ф.Ш. Безопасность жизнедеятельности, 2013. – № 4 (148). – С. 13 – 16.
77. Изучение режимов движения жидкости в цилиндрической трубе: Методические указания к лабораторной работе 3 по курсу «Гидравлика» / А.В. Некрасов, В. Д. Баранов. Свердловск: УПИ, 1989. – С. 2-3.
78. Казьмин В.Н. и др. Вероятностный подход к решению задачи SLAM в трехмерном пространстве // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – № 2. – С. 49-51.
79. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., перераб.и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – С. 10.
80. Хафизов Ф.Ш., Абдрахманов Н.Х., Климин О.Н., Ванчухин Н.П., Юминов И.П. Применение вихревых аппаратов в промышленности // Обеспечение промышленной безопасности производственных объектов топливно-энергетического комплекса Республики Башкортостан: матер. II науч.-техн. семинара. Уфа: УГНТУ, 1999. – 225 с.
81. Хафизов Ф.Ш., Кудрявцев А.А., Шевченко Д.И. Определение структуры и параметров регуляторов для задач моделирования процессов в компьютерных тренажерах при ограниченном информационном обеспечении // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 1. – С. 336 – 349.
82. Ганеев, Р.А. Исследование завихрителей в приборах пожаротушения для повышения эффективности тушения пожаров / Р.А. Ганеев, И.Ф. Хафизов, З.Х. Павлова, Д.Л. Алексеев // Научный электронный журнал «Техносферная безопасность». – 2024. – №4(45). – С. 61-69.

ПРИЛОЖЕНИЯ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ	
 «УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ФГБОУ ВО «УГНТУ»)	
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064. Тел.: (347) 242-03-70, http://www.rusoil.net , E-mail info@rusoil.net ИНН 0277006179, ОГРН 1020203079016, ОКПО 02069450, КПП 027701001	
<u>01.11.2023 № 90-124/21</u>	
На № _____ от _____	В диссертационный совет Д 24.2.428.06

**СПРАВКА
об использовании материалов диссертации
в учебном процессе**

Материалы диссертационной работы аспиранта кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Ганеева Руслана Альбертовича повышение эффективности тушения пожаров на значительно удаленном расстоянии от очага пожара с помощью модернизированных пожарных стволов, способствующих возникновения вихревых потоков, используются в учебном процессе при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Пожарно-строевая подготовка», для специалистов по специальности: 20.05.01 – «Пожарная безопасность», специализация: Пожарная и промышленная безопасность в чрезвычайных ситуациях, и охрана труда» и по дисциплине «Пожарная и промышленная безопасность технологических процессов», для бакалавров по направлению подготовки: 20.03.01 – «Техносферная безопасность», профиль: Техносферная безопасность в нефтегазовой отрасли. И отражены в учебно-методических пособиях по выполнению лабораторных работ.

Проректор по научной
и инновационной работе
д-р техн. наук, профессор



И.Г. Ибрагимов

Ф.Ш. Хафизов
89173436273



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «РН-ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

ФИЛИАЛ «БАШКИРИЯ»

(Филиал «Башкирия» ООО «РН-Пожарная безопасность»)

Почтовый/юридический адрес: Улъяновск 69 корп.2, г. Уфа Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450112
Тел./факс: (347)249-01-51, E-mail: rn-pb@pbzrasneft.ru

ОКПО 19113853, ОГРН 1086316002486, ИНН 6316130984/КПП 631601001

от 05.03.2025 № УСХ-БК/06-0397-26

на № _____ от _____

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы

Настоящим подтверждаю, что в филиале Башкирия ООО «РН-Пожарная безопасность» успешно апробированы и представляют практический интерес исследования по повышению эффективности тушения пожаров на значительно удаленном расстоянии от очага пожара с помощью модернизированных пожарных стволов. Опытные образцы, разработанные при непосредственном участии Ганеева Руслана Альбертовича, прошли успешные испытания и показали необходимость в развитии данного направления исследования.

Директор филиала



Б.М. Кенжегалеев

БАШКОРТОСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
ҒӨЗӨТТӨН ТЫШ ХӘЛДӘР БУЙЫНСА
ДӘУЛӘТ КОМИТЕТЫ



БАШКОРТОСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
ЯНҒЫНҒА ҚАРШЫ ХЕЗМӘТЕ
ДӘУЛӘТ КАЗНА
УЧРЕЖДЕНИЕҒЫ
(БР ЯНҒЫНҒА ҚАРШЫ ХЕЗМӘТЕ ДКУ)
Достоевский урамы, 89А, Оҫо калаһы,
Башкортостан Республикаһы, 450005

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН
ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ КАЗЁННОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ПРОТИВОПОЖАРНАЯ СЛУЖБА
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН
(ГКУ Противопожарная служба РБ)
ул. Достоевского, д. 89А г. Уфа,
Республика Башкортостан, 450005

Тел. (347)276-31-01, e-mail: info@ppsrb.ru ОГРН 1180280079891, ИНН 0272911810

02.04.2025 № 306

На № _____ от _____

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы

Настоящим подтверждаю, что опытный стенд для проведения исследований движения жидкости в трубном пространстве через закручивающие устройства, разработанные при непосредственном участии Ганеева Руслана Альбертовича, прошли успешные испытания на автоцистернах в подразделениях ГКУ Противопожарная служба РБ и показали необходимость в развитии данного направления исследования, так как представляют практический интерес в повышении эффективности тушения пожаров за счёт увеличения дальности подачи огнетушащих веществ в очаг пожар.

В результате сравнительных испытаний отмечено увеличение дальности подачи воды в сочетании с уже существующими пожарными стволами, за счёт использования предлагаемого опытного стенда.

Справка дана по месту требования.

Начальник



Р.М. Арсланов