

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

На правах рукописи



Гусев Иван Александрович

**ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ
ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ**

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Алешков Михаил Владимирович

Москва – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ.....	10
1.1 Анализ пожаров и их последствий на объектах энергетики.....	10
1.2 Исследование вопросов применения мобильной робототехники при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций.....	26
1.3 Постановка целей и задач исследования.....	36
ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ПРИ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ.....	39
2.1 Огнетушащие составы, применяемые при тушении пожаров на объектах энергетики.....	41
2.2 Определение значений тока утечки по струе воды и смеси воды и абразива при тушении пожаров электрооборудования под напряжением..	58
2.3 Определение параметров тяговых усилий мобильной робототехники пожаротушения.....	70
2.4 Выводы по второй главе.....	84
ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТАКТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ С ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКОЙ ПРИ ПОДАЧЕ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ.....	85
3.1 Анализ гидравлических потерь напора в мобильных системах пожаротушения.....	85
3.2 Измерительный комплекс для исследования гидравлических характеристик установок пожаротушения с гидроабразивной резкой.....	96
3.3 Исследование гидравлических характеристик рукавной линии установки пожаротушения с гидроабразивной резкой при горизонтальной прокладке.....	102
3.4. Математическая обработка полученных результатов.....	120

3.5. Выводы по третьей главе.....	122
ГЛАВА 4 ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ	124
4.1 Обоснование технических требований к конструкции разрабатываемого робототехнического средства пожаротушения.....	124
4.2 Мобильная роботизированная установка, предназначенная для проведения работ по пожаротушению на объектах энергетики.....	132
4.3 Тактические возможности РТС при тушении пожаров на объектах энергетики.....	138
4.4 Выводы по четвертой главе.....	150
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	151
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	153
Приложение А. ДАННЫЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗНАЧЕНИЙ ТОКА УТЕЧКИ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ.....	169
Приложение Б. ДАННЫЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗНАЧЕНИЙ СИЛЫ ТРЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ.....	175
Приложение В. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И СХЕМЫ ПОДАЧИ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ.....	178
Приложение Г. СБОРОЧНЫЕ ЧЕРТЕЖИ РУКАВНЫХ ВСТАВОК ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА.....	182
Приложение Д. ПРОВЕРКА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗЫ МЕТОДАМИ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА.....	189
Приложение Е. МЕТОДИКИ И ПРОТОКОЛЫ ИСПЫТАНИЙ.....	196
Приложение Ж. ПОСОБИЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОЖАРТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....	204
Приложение З. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ.....	209

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Энергетика Российской Федерации является ключевой отраслью экономики, обеспечивающей потребности государства в электроэнергии [1]. Объекты энергетики ввиду своих особенностей подвержены возникновению пожаров и аварий, в результате которых образуются условия, опасные для участников тушения пожаров.

Анализ статистических данных о пожарах и авариях, происходивших на объектах энергетики за период с 2005 по 2016 гг., показал, что они довольно часто приводят к травмированию и гибели людей, возникновению экологического и материального ущерба, как прямого, так и косвенного характера. При тушении пожаров на объектах энергетики, помимо воздействия на личный состав опасных факторов пожара, могут возникать и события, при которых происходит обрушение строительных конструкций на обширных площадях, взрывы емкостей, находящихся под давлением, поражения электрическим током и др. Все это неуклонно влияет на процесс тушения пожара, который приходится прерывать, отводя силы и средства на безопасные расстояния, что приводит к распространению пожара.

В связи с этим для эффективного тушения пожаров на объектах энергетики в условиях возникающих угроз предлагается применение мобильной робототехники пожаротушения, разработке которой и посвящена настоящая работа.

Степень разработанности темы исследования. Обеспечение пожарной безопасности объектов энергетики всегда было одной из наиболее значимых тем научных исследований. Большой вклад в этом направлении внесли: Микеев А.К., Алешков М.В., Лобанова Н.А., Двоенко О.В., Ольховский И.А. и др. Все они занимались вопросами обеспечения пожарной безопасности объектов энергетического комплекса, при этом рассматривали как комплексные подходы, так и частные, выражающиеся в исследованиях и создании специальных образцов пожарной техники и разработке противопожарных мероприятий [2–10].

Исследованиями в области разработки и применения при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций мобильной робототехники занимались многие специалисты и научные коллективы. Отдельно хотелось бы выделить: Цариченко С.Г., Тодосейчука С.П., Северова Н.В., Власова К.С. и др. [11–26].

Однако, анализ результатов рассматриваемых исследований показал, что, вопрос применения мобильной робототехники для тушения пожаров на объектах энергетики практически не исследован, отсутствует специально разработанная для этих целей робототехника и практически полностью отсутствует методическая база, связанная с технологией ее эффективного применения.

В связи с этим **целью исследования** является обоснование применения мобильных робототехнических средств для тушения пожаров на объектах энергетики.

Для достижения поставленной цели необходимо **решить ряд задач:**

1) провести анализ пожаров и аварий, произошедших на объектах энергетики и выявить особенности их тушения;

2) провести исследования и обосновать параметры, влияющие на тактико-технические характеристики робототехнического средства пожаротушения, разрабатываемого для объектов энергетики;

3) провести исследования гидравлических характеристик систем подачи огнетушащих веществ, интегрированных в конструкцию робототехнического средства пожаротушения;

4) обосновать параметры и разработать опытный образец мобильного робототехнического средства применимого для пожаротушения на объектах энергетики;

5) разработать тактические приемы использования мобильных робототехнических средств для тушения пожаров на объектах энергетики.

Информационными основами исследования являются статистические данные по пожарам, произошедшим на объектах энергетики, а также данные научно-исследовательских работ, связанных с разработкой и применением мобильной робототехники при тушении пожаров.

Объектом исследования является тушение пожара на объектах энергетики.

В качестве **предмета исследования** рассматривается применение мобильных робототехнических средств для тушения пожаров на объектах энергетики.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- научно обоснована целесообразность применения мобильной робототехники для тушения пожаров на объектах энергетики;
- впервые определены токи утечки по струе смеси воды и абразива;
- обоснованы математические зависимости по определению тока утечки по струе воды и смеси воды с абразивом в зависимости от расстояния и напряжения;
- разработан измерительный комплекс для определения гидравлических характеристик установок пожаротушения с гидроабразивной резкой, интегрированных в конструкцию робототехнического средства;
- определены гидравлические характеристики насосно-рукавных систем установок пожаротушения с гидроабразивной резкой;
- обоснованы требования к конструкции и разработан опытный образец мобильного робототехнического средства, предназначенного для тушения пожаров на объектах энергетики;

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что получены данные и математические зависимости, позволяющие оценить тактико-технические характеристики мобильной робототехники пожаротушения в зависимости от условий ее применения.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основании полученных результатов был разработан опытный образец мобильного робототехнического средства пожаротушения и методическое пособие, раскрывающее возможности эффективного применения мобильных робототехнических средств для тушения пожаров на объектах энергетики.

Методология и методы исследования. В работе использованы методы теории гидравлики, трения и электропроводности, методы математического анализа и физический эксперимент.

Положения, выносимые на защиту:

– методика и результаты исследования по определению значений тока утечки по струе воды и смеси воды с абразивом;

– математические зависимости для определения величины тока утечки по струе воды и смеси в зависимости от расстояния и напряжения;

– результаты исследования тяговых характеристик мобильной робототехники при перемещении пожарных напорных рукавов;

– методика и результаты исследования гидравлических характеристик рукавов высокого давления, применяемых в установках пожаротушения по которым транспортируется вода и смесь воды и абразивных частиц, для целей гидроабразивной резки и пожаротушения;

– научно обоснованные требования к конструкции робототехнического средства пожаротушения, применимого на объектах энергетики.

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

Материалы диссертации реализованы при:

– разработке пособия по технологии применения робототехнических комплексов для пожаротушения на объектах атомной энергетики (МЧС России, 2017);

– разработке методических рекомендаций по тактике применения автомобилей, оборудованных установками пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки (ГУ МЧС России по г. Москве, 2017);

– проведении экспериментального исследования по определению возможности применения установок пожаротушения с системой гидроабразивной

резки при тушении пожаров на электрооборудовании под напряжением до 30 кВ (ООО «Объединенные спасательные технологии», 2016);

– разработке методики проведения приемочных испытаний дистанционно-управляемой роботизированной установки пожаротушения малого класса (АО «ВзППСО», 2017);

– разработке многофункционального мобильного робототехнического комплекса РТС-РХ-Л1 (ЗАО НПО «Курганский завод СпецТехники», 2017);

– проведении экспериментального исследования по определению возможностей мобильного комплекса, оборудованного установкой пожаротушения с системой гидроабразивной резки (ООО «ТК Пожснаб», 2016);

– выполнении научно-исследовательской работы «Применение робототехнических комплексов для обеспечения технологии пожаротушения на объектах атомной энергетики», п. 1.3-7/Б2 Плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ МЧС России на 2016 год, утвержденного приказом МЧС России от 14.04.2016 №188 ДСП.

Апробация результатов исследования:

Основные результаты работы были доложены на:

– IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 2015 г.);

– X Международной научно-практической конференции молодых ученых: курсантов, (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктуры (г. Минск, КИИ МЧС Республики Беларусь, 2016 г.);

– V Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016 г.);

– 5-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации – 2016» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016 г.);

– 10-й Международной научно-практической конференции «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» (г. Москва, ЭНИЦ, 2016 г.);

– VI Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2017» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017 г.);

– 26-й Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2017» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017 г.);

– 6-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2018 г.);

– VII Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2018» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2018 г.).

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 5 – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы и приложений. Содержание работы изложено на 215 страницах машинописного текста, включает в себя 25 таблиц, 65 рисунков, список использованной литературы из 138 наименований и 8 приложений.

ГЛАВА 1 ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

1.1 Анализ пожаров и их последствий на объектах энергетики

Стабильно функционирующая энергетическая система – залог экономического развития и стабильного функционирования всех систем жизнедеятельности государства. Энергетика обеспечивает работу объектов социальной инфраструктуры, промышленности, сельского хозяйства, оборонно-промышленного комплекса и многих других, без которых человеку просто не обойтись [27].

Сегодняшние темпы развития общества подразумевают под собой и рост потребностей, в том числе и в энергоресурсах. Только за прошедший год, согласно данным министерства энергетики Российской Федерации, было выработано 1058513,00 млн кВт ч электроэнергии [28].

На сегодняшний день энергетика России работает в режиме непрерывности и в условиях повышенных нагрузок, чем обуславливается наиболее пристальное к ней внимание. Своевременное техническое обслуживание, ремонт, замена устаревшего оборудования, разработка новых технических решений, позволяющих оптимизировать процесс производства электроэнергии, ее транспортировку и распределение, оснащение современными видами пожарного оборудования обеспечивают безопасную и эффективную работу объекта. Но как показывает практика, выполнение рассматриваемых условий, по ряду причин, не всегда является возможным.

Было установлено, что за последнее время, ввод новых мощностей не превышал 1,0%, при возрастающем росте энергопотребления на 2,7% в год. Проведение капитальных и средних ремонтов оборудования снизилось почти на 10%, а средний возраст эксплуатируемого оборудования составляет 32,8 года, при установленном нормативе в 40 лет [29, 30].

Все это неуклонно сказывается на работе объектов энергетики. В результате износа оборудования происходят сбои и отказы в его работе, возникают перегрузки, короткие замыкания, что является одной из причин возникновения пожаров, а наличие на объектах большого количества горючих веществ и материалов способствует развитию пожара до крупных размеров.

Подтверждением такого развития событий является пожар, произошедший в 2002 году на Каширской ГРЭС-4, причиной которого стало усталостное разрушение ротора генератора турбоагрегата №3 (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Последствия пожара на Каширской ГРЭС-4

В результате разлета осколков лопастного аппарата были повреждены несущие строительные конструкции, а также трубопроводы масляной системы и системы охлаждения, что привело к разливу и возгоранию масла. Интенсивное горение и воздействие его на строительные конструкции привело к обрушению кровли машинного зала. Произошло отключение трех энергоблоков. После ликвидации пожара, было установлено, что разрушенный энергоблок, мощностью 300 МВт не подлежит восстановлению [31].

Для анализа сложившейся обстановки с пожарами было проведено статистическое исследование данных по пожарам за период с 2005 по 2016 год и возникающего, в связи с этим материального ущерба на объектах энергетики России (рисунок 1.2) [32].



Рисунок 1.2 – Количество пожаров, погибших и травмированных на объектах энергетики в период с 2005 по 2016 год

Было установлено, что пожары сопровождалось травмированием и гибелью людей в результате воздействия на них опасных факторов пожара как первичного, так и вторичного проявления. При этом получают травмы и гибнет не только персонал объекта, но и личный состав пожарно-спасательных подразделений, участвующий в тушении пожара.

Несмотря на уменьшение количества пожаров, ущерб, причиняемый ими, остается высоким (рисунок 1.3).

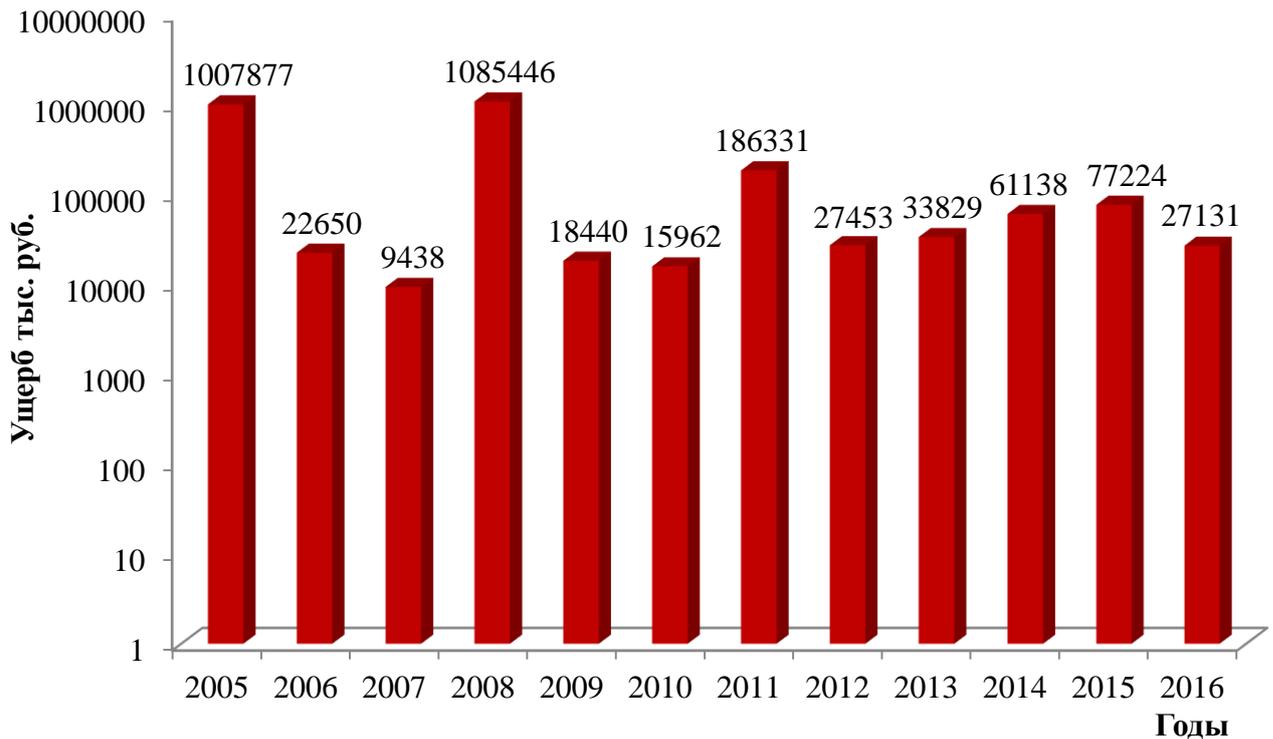


Рисунок 1.3 – Ущерб от пожаров, произошедших на объектах энергетики в период с 2005 по 2016 год

Помимо прямого материального ущерба, связанного с повреждением или уничтожением имущества, возникает еще и косвенный ущерб, который, в зависимости от условий, может быть больше прямого в несколько раз.

В качестве примера рассмотрим пожар, произошедший 25 мая 2005 года на подстанции «Чагино» в г. Москве, где в результате возгорания четырех трансформаторов тепловая подстанция была полностью отключена (Рисунок 1.4).

Последствия аварии привели к сбою в работе московского энергокольца, отключились пять московских электростанций и еще пятнадцать питающих центров. Авария оставила без электроснабжения Московскую, Рязанскую, Тульскую и Калужскую области. Без электроснабжения остался Московский нефтеперерабатывающий завод. Чрезвычайная ситуация сложилась на многих социально значимых объектах города. Возникли сложности в работе авиаперевозок и железнодорожного сообщения, а московский метрополитен столкнулся с самым масштабным сбоем в работе за всю историю своего существования: не функционировали 52 из 170 станций. Общая величина прямого

и косвенного ущерба от аварии составила 1,7 млрд рублей только для г. Москвы, и еще 504 млн руб. для Московской области [33].



Рисунок 1.4 – Пожар на подстанции «Чагино»

Риск возникновения пожаров на объектах энергетики, а также последствия, возникающие в результате пожара или аварии, зависят и от типа объекта.

Во всем мире принято выделять пять основных типов электростанций:

- тепловые (ТЭС);
- гидравлические (ГЭС);
- атомные (АЭС);
- солнечные (СЭС);
- ветровые (ВЭС).

На территории Российской Федерации наиболее распространены, тепловые, гидравлические и атомные электростанции, из которых наибольшая выработка электроэнергии осуществляется тепловыми электростанциями и составляет 58,6% от общего количества. В общей сложности энергетический комплекс России насчитывает порядка 600 электростанций, общая установленная мощность которых составляет 220 тыс. МВт. [34].

На ТЭС основным видом пожарной нагрузки являются органические виды топлива, находящиеся на объекте в виде складов торфа, угля, мазута. Имеется разветвленная система газовых коммуникаций, отделения по подготовке топлива к сжиганию. Все энергоблоки ТЭС размещаются в одном здании (полиблочная компоновка), что не совсем удачно с точки зрения пожарной безопасности, так как возможно быстрое распространение огня в соседние помещения и на другое технологическое оборудование. [31, 35].

Турбогенераторы ТЭС располагаются в машинных залах станции, которые могут достигать в длину до 200 м, быть высотой от 30 до 40 м. Именно в машинных залах сосредоточено наибольшее количество пожарной нагрузки. Здесь имеются системы смазки генераторов, машинное масло, электроизоляция обмоток генераторов и другой электроаппаратуры и устройств. Помимо этого, пожарную опасность машинных залов повышают дизельное топливо и мазут, применяемые в резервных дизельных электростанциях. Пожары в машинных залах в основном связаны с нарушениями целостности систем смазки и регулирования турбоагрегатов, содержащих масло [35, 36].

Для энергоблоков мощностью 300 МВт объем маслосистемы составляет 47 м³, а для блоков мощностью 800 МВт достигает 58 м³. Масло в системах находится под давлением. Маслосистемы располагаются в непосредственной близости к горячим поверхностям турбин и источникам искрообразования, и любое их повреждение может привести к пожару. При повреждении масляных систем огонь быстро распространяется по всем площадкам, сборникам масла. От момента разрыва маслопровода до аварийного отключения системы, как правило, наружу выходит значительное количество масла, которое начинает стекать на нижележащие этажи. В связи с этим пожар может одновременно возникнуть как на отметке обслуживания турбины, так и на промежуточных отметках [36].

На большинстве объектов применяются турбогенераторы с водородным и водородно-водяным охлаждением с избыточным давлением водорода в корпусе от 0,05 до 0,5 МПа. Присутствие взрывоопасного и горючего водорода может привести к взрыву и последующему факельному горению водорода, что зачастую

способствует разрушению и масляных магистралей, приводя к быстрому распространению огня и повышению температуры в горящем помещении, оказывая пагубное воздействие на соседнее оборудование и строительные конструкции.

Машинные залы станций выполняются обычно каркасными с использованием металлических колонн и ферм перекрытия, которые под действием весовых нагрузок и теплового воздействия теряют свою несущую способность. Анализ особенностей поведения металлических конструкций при пожаре показывает, что при нормативном уровне статических нагрузок нагрев фермы до температуры свыше 500 °С приводит к ее деформации и в дальнейшем к разрушению [37].

Примером таких последствий является пожар, произошедший 9 февраля 2008 года на ТЭЦ-1 в г. Улан-Удэ (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Пожар в машинном зале ТЭЦ-1, г. Улан-Удэ

Пожар в машинном зале ТЭЦ-1 произошёл в результате возгорания электрокабеля. Огонь быстро перекинулся на одну из семи работающих турбин, в которой находилось 17 тонн масла. В результате сработала система аварийной защиты, которая отключила остальные шесть турбин.

Работы по тушению пожара продолжались в течение шести часов. Было задействовано шестнадцать пожарных отделений на основных и специальных пожарных автомобилях. Площадь пожара составила 1 тыс. м², произошло

обрушение кровли над горящей турбиной, что во многом осложнило действия по тушению пожара.

Авария на ТЭЦ-1, обслуживающей Железнодорожный, Советский и Октябрьский районы г. Улан-Удэ, оставила без теплоснабжения в зимний период порядка 168 тыс. чел. [38].

Обрушение строительных конструкций, которое может произойти в результате пожара, создает немалую угрозу для участников тушения пожара. Оно приводит к выходу из строя не горящее оборудование, что существенно сказывается на работоспособности объекта и в разы повышает материальный ущерб. Пожар, произошедший на Углегорской ТЭС, является тому подтверждением.

В результате пожара, произошедшего 29 марта 2013 года на Углегорской ТЭС, практически полностью была уничтожена первая очередь электростанции. Огонь возник на отметке +22.000 м бункерного отделения, на участке, где проектом не были предусмотрены системы пожарной сигнализации и автоматического пожаротушения, откуда перекинулся на кровлю машзала, которая через некоторое время обрушилась, повредив маслосистему двух энергоблоков. В результате аварии были полностью уничтожены блочные щиты управления, два турбоагрегата, обрушилась вся кровля над машинным отделением. В ходе разбора завалов и восстановления станции было вывезено более 880 тонн металлолома. Общий ущерб от аварии составил более 21 млн долл. США (в ценах 2013 г.). Погиб 1 человек и пятеро были госпитализированы с ожогами различной степени тяжести [39].

Анализ массива пожаров, происходивших на объектах энергетики, позволил установить, что порядка 38% пожаров от их общего количества возникали на кабельном оборудовании (рисунок 1.6).

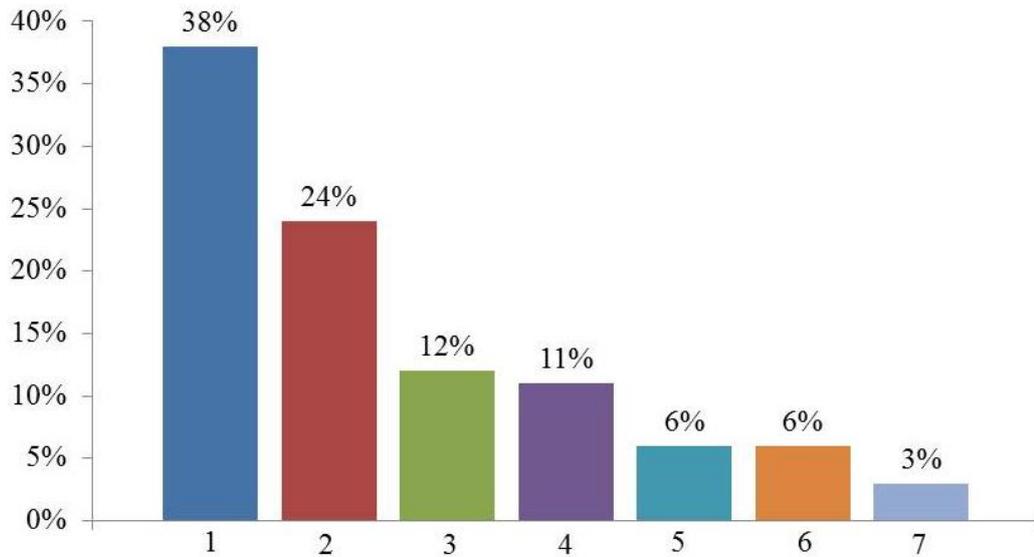


Рисунок 1.6 – Оборудование, наиболее подверженное возникновению пожаров

1 – кабельное оборудование; 2 – маслопроводы; 3 – маслонасосы;

4 – турбогенераторы; 5 – электронное оборудование; 6 – трансформаторы; 7 – вентсистемы

Кабельное оборудование состоит из кабельных полуэтажей, туннелей, каналов и галерей. Количество силовых и контрольных кабелей, относящихся к одному крупному энергетическому блоку (300–600 МВт), может достигать до 40 тысяч штук общей протяженностью в несколько сотен километров. По территории станций потоки многочисленных кабелей прокладываются в кабельных каналах или лотках, которые по мере приближения к посту управления увеличиваются в сечении или даже переходят в кабельные туннели (для кабелей в количестве более 20–30). Для вертикальных прокладок кабельные туннели переходят в шахты тех же сечений [40].

Пожары, возникающие на кабельном оборудовании, относятся к классу сложных, с точки зрения тактики тушения, пожаров. Они сопровождаются быстрым ростом температуры (средняя скорость роста температуры составляет 35–50 град/мин), плотным задымлением, высокой скоростью распространения огня и дыма, а также возникновением угрозы поражения электрическим током [35].

Тушение пожаров электрооборудования под напряжением является одной,

из наиболее часто возникающих проблем и представляет собой достаточно сложный и опасный процесс. Порядок тушения пожаров электрооборудования под напряжением регламентируется нормативными документами [41–43], носящими как обязательный, так и рекомендательный характер.

Тушение пожаров электрооборудования под напряжением допускается проводить, если напряжение на токоведущих частях не превышает значения 0,4 кВ и не может быть снято исходя из технологии производства. Тушение следует проводить распыленными струями воды с расстояния не менее 5 метров, используя при этом диэлектрический комплект. Также, при тушении пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением, необходимо проводить заземление средств подачи огнетушащих веществ и насосов пожарных автомобилей. Запрещается проводить тушение, если в результате пожара видимость составляет менее 5 м [41].

Во всех остальных случаях допускается проводить тушение пожаров электрооборудования под напряжением только после обесточивания оборудования, что должно быть подтверждено в письменной форме. Письменное подтверждение выдается и в случае тушения пожаров электрооборудования напряжением до 0,4 кВ [41].

При возникновении пожара, время его свободного развития складывается из нескольких временных интервалов и выражается формулой 1.1 [44]:

$$\tau_{cp} = \tau_{\partial.c} + \tau_{cb} + \tau_{cl} + \tau_p, \quad (1.1)$$

где τ_{cp} – время свободного развития пожара, мин;

$\tau_{\partial.c}$ – время от начала возникновения пожара до сообщения о пожаре в пожарную часть, мин;

τ_{cb} – время сбора и выезда по тревоге, мин;

τ_{cl} – время следования к месту пожара, мин;

τ_p – время разворачивания с расстановкой сил и средств подразделения пожарной охраны, мин.

При тушении пожаров на энергообъектах время свободного развития пожара увеличивается. Связано это с необходимостью выполнения дополнительных действий по обесточиванию оборудования и заземлению средств тушения [45].

В связи с этим формула свободного развития пожара видоизменяется и приобретает вид 1.2:

$$\tau_{cp} = \tau_{д.с} + \tau_{сб} + \tau_{сл} + \tau_p + \tau_{обест} + \tau_{зазем}, \quad (1.2)$$

где $\tau_{обест}$ – время обесточивания электрооборудования, мин;

$\tau_{зазем}$ – время заземления средств тушения, мин.

Таким образом, подготовительные мероприятия при тушении пожаров на объектах энергетики увеличивают время тушения пожара, что приводит к ухудшению обстановки на пожаре и возникновению опасных условий, осложняющих действия пожарных подразделений.

Особое место в энергетике занимают атомные электростанции, пожары и аварии на которых становятся настоящей трагедией для человечества.

На сегодняшний день в России созданы и активно функционируют 10 атомных электростанций, имеющих 34 энергоблока разных модификаций общей мощностью 26312 МВт. На этапе пуска находится один энергоблок, и семь энергоблоков находятся на этапе строительства. Согласно планам развития атомной энергетики, ее доля в общем производстве электроэнергии к 2030 году должна вырасти до 25–30% от общего уровня. На данный момент уровень производимой электроэнергии составляет 18,7% [46, 47].

Пожары на объектах атомной энергетики (рисунок 1.7), помимо ранее рассмотренных особенностей, могут сопровождаться выбросом радиоактивных продуктов, что становится причиной заражения огромной территории и акватории, а также создает напряженную обстановку как внутри страны, так и во внешнеполитических отношениях.

В связи с этим объекты атомной энергетики требуют к себе повышенного внимания в области обеспечения пожарной безопасности, а также своевременной

ликвидации возникших пожаров и аварий, что подтверждается и работами зарубежных коллег [48].

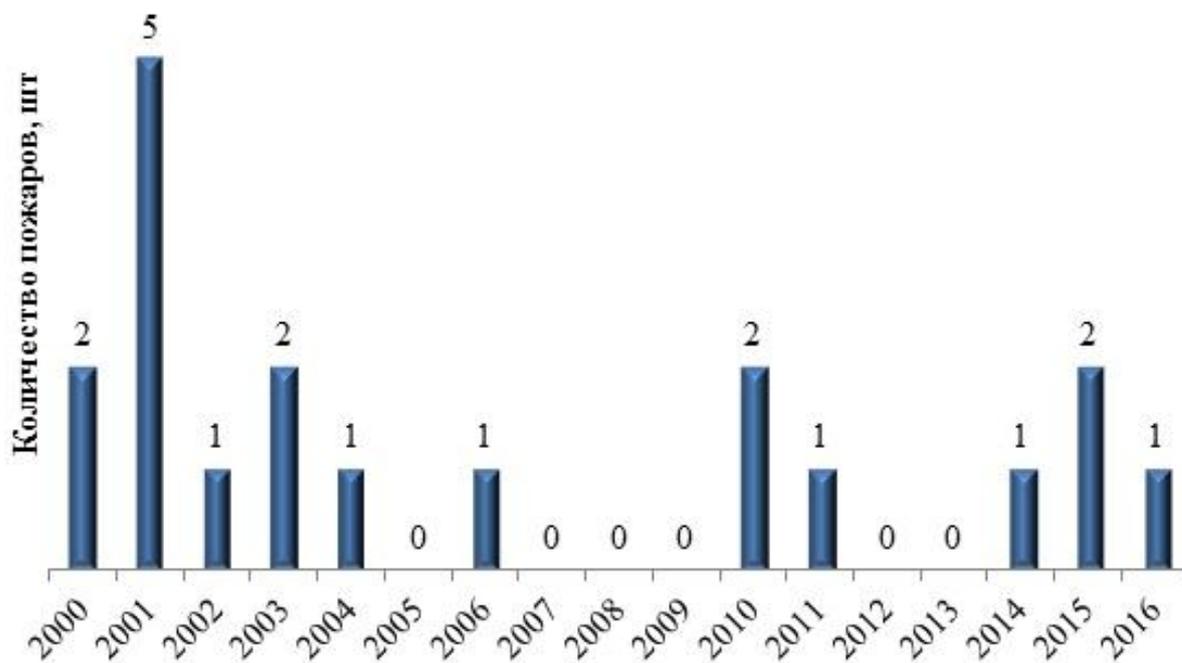


Рисунок 1.7 – Количество пожаров на АЭС Российской Федерации в период с 2000 по 2016 год

Не каждая авария или пожар, произошедшие на АЭС, имеют катастрофические последствия, некоторые удается ликвидировать сразу же. Но даже один инцидент может стать причиной гибели сотен людей, заражением огромных участков территории, на которых не одно десятилетие после аварии невозможно будет жить.

Известным примером катастрофических последствий аварии на АЭС является катастрофа, произошедшая в ночь на 26 апреля 1986 года, когда в результате проведения регламентных работ произошёл взрыв ядерного реактора РБМК-1000 четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС (рисунок 1.8).

В результате взрыва произошло частичное разрушение реакторного отделения, пострадала кровля машинного зала станции. Произошёл выброс до 80% радиоактивных продуктов, находящихся в реакторе. Активный выброс радиоактивных веществ обеспечивался за счет высокой температуры горящего внутри реактора топлива, что обеспечивало испарение и возгонку радиоактивных

продуктов из реакторной установки. Помимо этого, на крыше реакторного отделения и машинного зала образовалось около 30 очагов пожара. Пожар на кровле машинного зала был опасен тем, что его дальнейшее развитие могло привести к возгоранию горючей нагрузки внутри машзала, что привело бы к еще более трагическим последствиям.



Рисунок 1.8 – Последствия взрыва и пожара на ЧАЭС

Ограничение распространения пожара и его ликвидация были достигнуты благодаря решительным действиям пожарных, которые отдали за это свои жизни.

Мирно спавшее население близлежащих городов, да и человечество в целом, еще не знало, с какой бедой оно столкнулось. Прошло уже более 30 лет со дня трагедии, а последствия аварии сказываются и по сей день [4, 49].

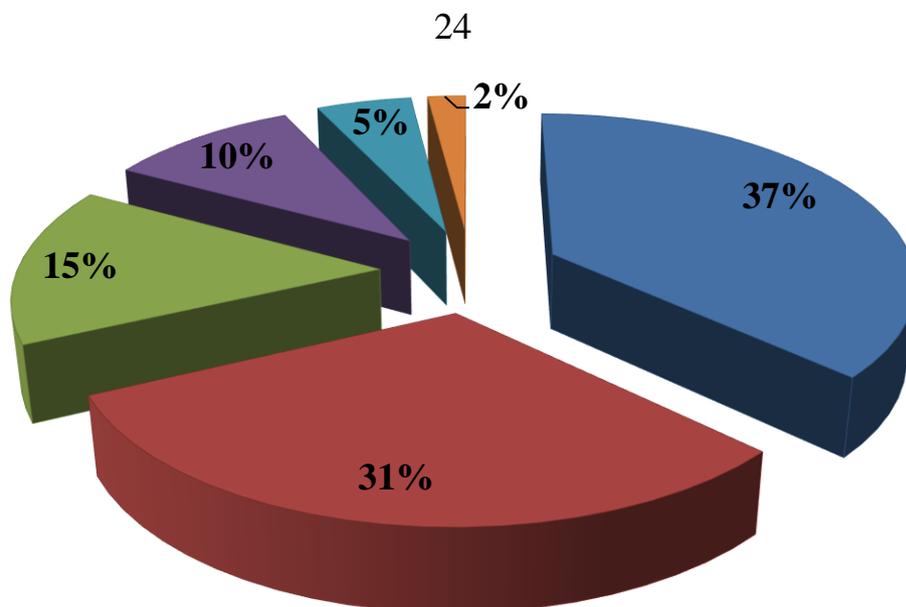
Как было ранее замечено, большинство пожаров на объектах энергетики происходит на электрооборудовании. Объекты атомной энергетики далеко не

исключение. Напротив, пожары на электрооборудовании АЭС представляют огромную опасность. В первую очередь, это связано с тем, что большая часть электрооборудования отвечает за безопасную работу реакторной установки.

Проанализировав оперативную информацию, составляемую согласно документации [43, 50], было установлено, что, в среднем, около 30% суммарной площади помещений от общей площади АЭС содержат в себе электрооборудование напряжением от 0,4 до 6 кВ, отключение которого при пожаре невозможно, исходя из условий безопасности.

Примером горения такого рода электрооборудования является пожар, произошедший на АЭС «Браунс Ферри» (США). Пожар произошёл в 1957 году, но до сих пор считается одним из самых крупных по ущербу и по возможным последствиям. Причиной пожара стало банальное нарушение правил пожарной безопасности. Рабочий при помощи горящей свечи пытался найти утечку из трубы, по которой осуществлялся подвод сжатого воздуха. В результате пожара было уничтожено около 2000 обособленных контрольных, сигнализационных и силовых кабелей, более 1600 кабельных линий, 600 из которых относилось к системам управления защитой станции. Впоследствии установили, что аварийное водоснабжение было повреждено, и если бы пожар не был вовремя потушен силами пожарных подразделений, то произошла бы ядерная катастрофа. Общий ущерб от пожара составил более 20 млн. долларов [4, 51].

Причины возникновения пожаров на объектах энергетики весьма разнообразны, но в основном это проблемы электрооборудования – короткие замыкания и перегрузки (рисунок 1.9).



- КЗ, перегрузки - 37%;
- Нарушение правил пожарной безопасности при проведении огневых работ - 31%;
- Неисправность и нарушение правил эксплуатации технологического оборудования - 15%;
- Неосторожное обращение с огнем - 10%;
- Нарушение правил эксплуатации электроустановок потребителей - 5%;
- Нарушение правил пожарной безопасности при эксплуатации электрических приборов - 2%.

Рисунок 1.9 – Причины возникновения пожаров на объектах энергетики

Анализ данных по пожарам позволил установить, что на объектах атомной энергетики, как и в случаях с ТЭС, наибольшее число пожаров происходит в машинных залах станции и сопровождается обрушением кровли (рисунок 1.10).

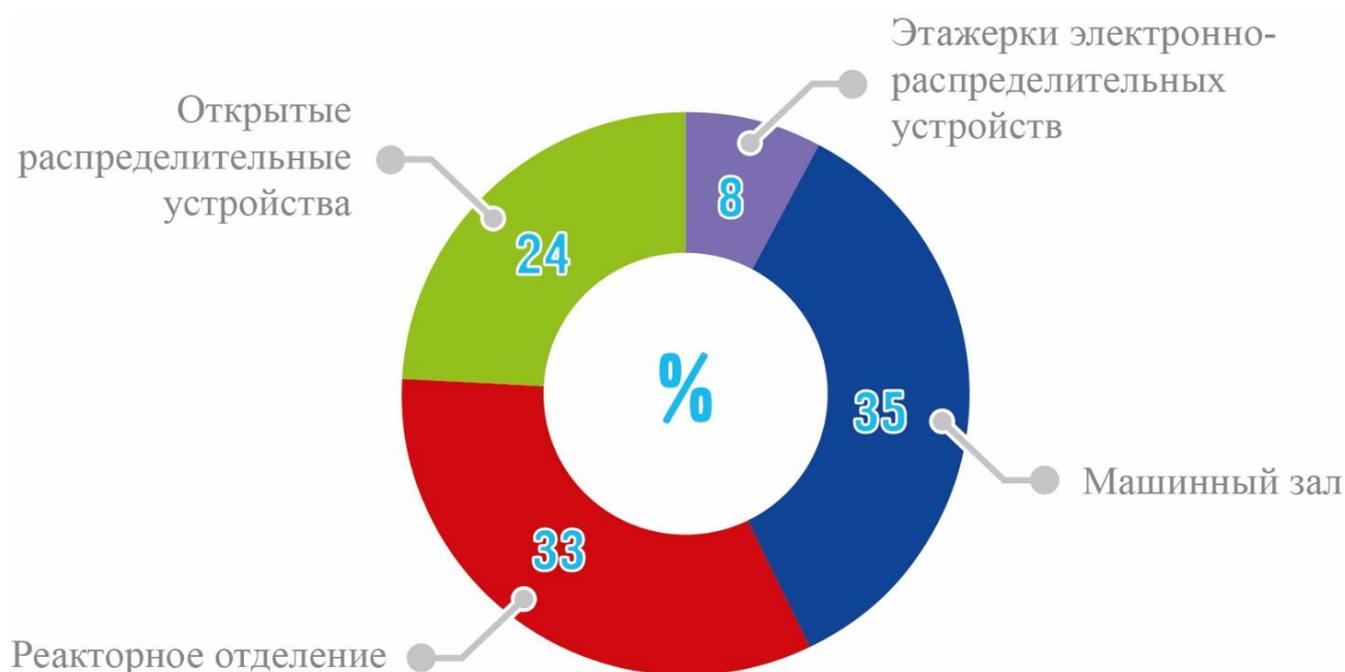


Рисунок 1.10 – Места возникновения пожаров на энергоблоках АЭС

Примером таких последствий является крупный пожар, произошедший в 1978 г. на Белоярской АЭС. В результате пожара, огнем которого был уничтожен весь контрольный кабель, произошло обрушение перекрытий машинного зала станции на площади 960 м². В ликвидации пожара было задействовано 270 человек. Работы по тушению осложнялись угрозой поражения электрическим током, плотным задымлением и погодными условиями [52].

Это далеко не весь перечень пожаров и аварий, происходивших в разное время на объектах энергетики, в том числе и атомной. Все они сопровождались возникновением определенных условий, при которых тушение пожара создавало смертельную угрозу для его участников. Помимо влияния опасных факторов пожара на участников тушения, происходит воздействие и сопутствующих факторов: взрывы, обрушение строительных конструкций, поражение электрическим током, воздействие радиоактивных или отравляющих веществ, образование условий, при которых возможны выбросы пламени и др.

Возникновение рассматриваемых угроз существенно влияет на процесс тушения пожара, который, в некоторых случаях приходится прерывать, отводя силы и средства на безопасные расстояния. За это время происходит дальнейшее развитие пожара, увеличивается его площадь, усугубляются последствия пожара.

Для обеспечения безопасности объектов энергетики необходим комплексный подход, выражающийся как в проведении мероприятий, направленных на предупреждение возникновения пожаров и аварий, так и на их эффективную ликвидацию.

Об этом свидетельствует и распоряжение Правительства Российской Федерации № 1717-р от 13 ноября 2009 года «Об утверждении энергетической стратегии России на период до 2030 года», в котором были определены основные направления инновационной и научно-технической политики в энергетике. Основной целью является обеспечение российского топливно-энергетического комплекса высокоэффективными отечественными технологиями и инновационными решениями, новейшим оборудованием в объемах, необходимых

для поддержания стабильной работоспособности и энергетической безопасности страны [47].

Одним из условий выполнения вышеуказанных задач является обеспечение объектов энергетики высокотехнологичными средствами предупреждения и ликвидации пожаров и аварий, обеспечивающих безопасность участников тушения пожара. На сегодняшний день к таким средствам можно по праву отнести робототехнику пожаротушения.

1.2 Исследование вопросов применения мобильной робототехники при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций

Говоря о робототехнике всех отраслей, хочется отметить, что на сегодняшний день это довольно перспективное направление, без разработок которого не обходится ни одно министерство или ведомство. Не является исключением и пожарная охрана. В области обеспечения пожарной безопасности различают два основных вида пожарной робототехники – стационарную и мобильную.

Стационарные роботизированные установки пожаротушения представляют собой комплекс автоматических устройств, включающих два и более пожарных робота, систему определения координат загорания и устройство программного управления комплексом, соединенных между собой информационным каналом связи и предназначенных для тушения пожаров [53]. Основным конструктивным элементом, входящим в состав установок пожаротушения, является лафетный ствол с дистанционным управлением.

По своим характеристикам и заявленным параметрам роботизированные установки пожаротушения соответствуют автоматическим установкам пожаротушения и обеспечивают автоматическую пожарную сигнализацию контролируемой зоны, определяют координаты загорания и проводят автоматическое пожаротушение, подавая в заданную точку огнетушащие вещества. Площадь, защищаемая одним пожарным роботом, составляет в среднем

от 5000 до 15000 м² при расходе огнетушащего вещества от 20 до 60 л/с соответственно [54].

Все пожарные роботы объекта защиты связаны между собой информационной сетью и интегрированы в комплексную систему безопасности, образуя в свою очередь роботизированный пожарный комплекс (рисунок 1.11) [55].

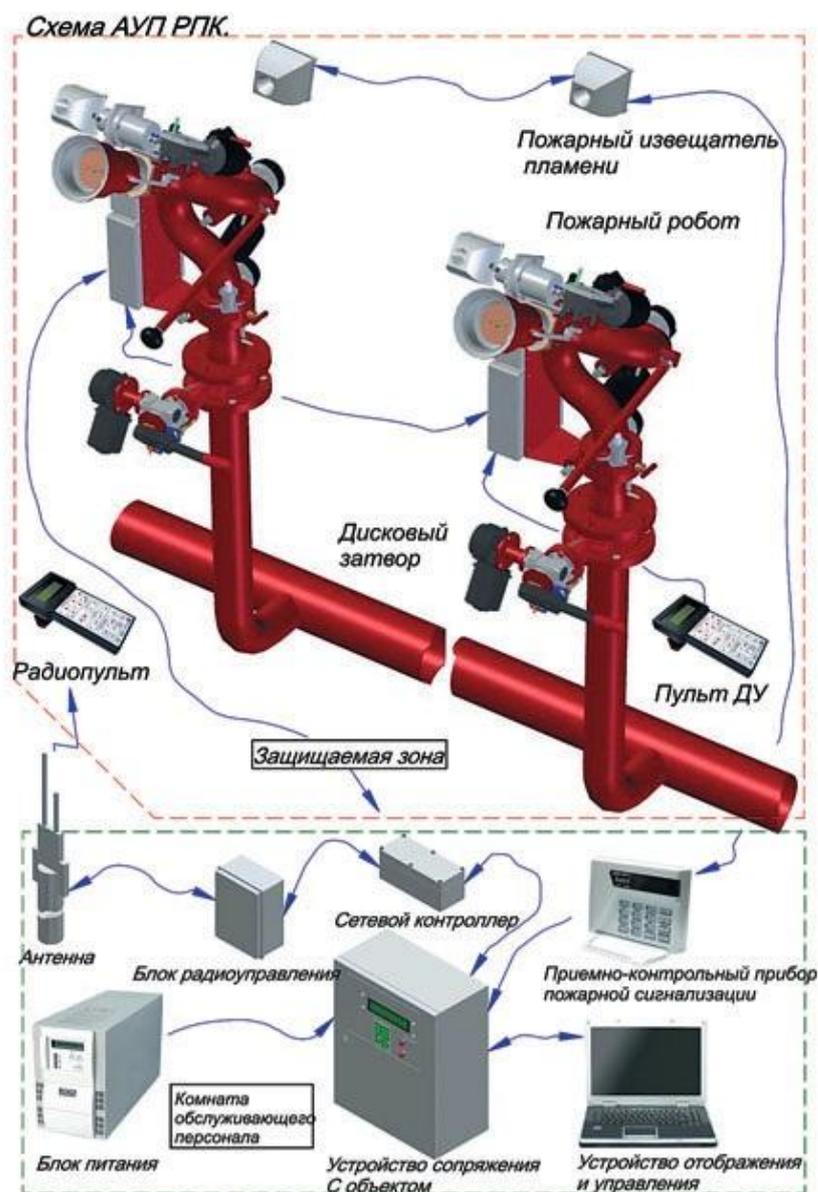


Рисунок 1.11 – Общая схема стационарного роботизированного комплекса пожаротушения

Роботизированный пожарный комплекс может работать в трех режимах. Дистанционный режим позволяет оператору самому управлять работой комплекса

для повышения эффективности тушения. В автоматическом режиме система сама обеспечивает свою работоспособность. Данный режим особенно актуален при отсутствии дежурного персонала на объекте. В автоматизированном режиме оператор дает системе команды на поиск очага пожара и включение выходов устройства сопряжения с объектом, которое обеспечивает выбор пожарных роботов и осуществляет подачу огнетушащих веществ в соответствии с заданной программой [56].

Роботизированные установки пожаротушения имеют ряд преимуществ относительно спринклерных и дренчерных систем пожаротушения.

Спринклеры и дренчеры включаются самостоятельно, нельзя произвести их включение в нужной для пожаротушения зоне. В роботизированных системах процессом пожаротушения можно управлять.

Одним из преимуществ системы также является ее экономическая целесообразность. Например, для защиты площади равной 7850 м², потребовалось бы около 500 спринклерных оросителей и около 2 километров стальных труб, либо один пожарный робот [57].

Однако наряду с положительными особенностями имеется и ряд недостатков. Монтаж роботизированных стационарных систем является довольно трудоемким процессом, особенно в условиях действующего объекта.

Роботизированные установки пожаротушения наиболее эффективны на объектах, имеющих открытые пространства. На объектах же энергетики ввиду наличия большого количества технологического оборудования, расположенного на разных уровнях, выполнение условия, когда вся площадь пространства должна быть защищена, является довольно трудоемким процессом, требующим больших экономических затрат.

Действия рассматриваемых систем пожаротушения направлены на своевременное обнаружение пожара, ограничение распространения огня и его тушение до прибытия пожарных подразделений. Но какой бы ни была совершенной система пожаротушения, она не может в полной мере обеспечить пожаротушение, при котором отсутствовала бы необходимость в участии

человека. В связи с этим, наряду со стационарными роботизированными системами пожаротушения, разрабатываются и мобильные образцы.

В настоящее время для решения наиболее сложных и опасных задач, связанных с тушением пожаров, проведением аварийно-восстановительных и поисково-спасательных работ в подразделениях МЧС России применяются наземные робототехнические комплексы различного назначения, выполняющие спектр всевозможных задач (рисунок 1.12).

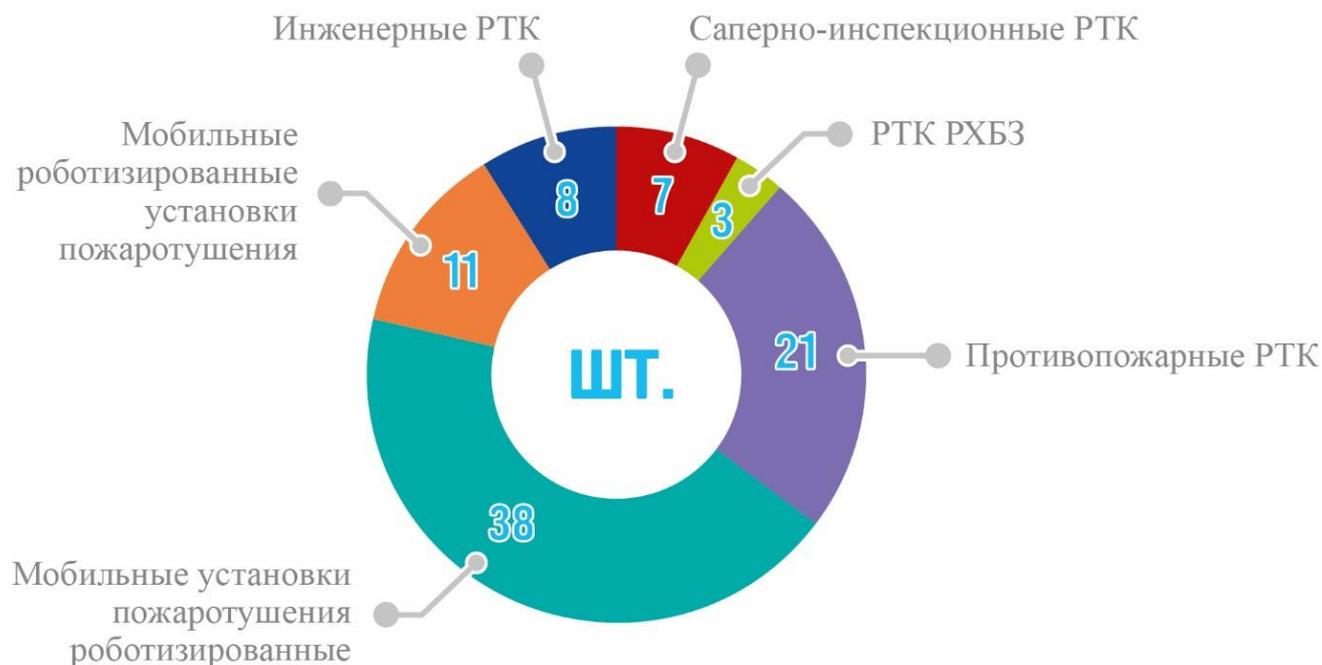


Рисунок 1.12 – Диаграмма распределения основных видов наземной робототехники, находящейся в подразделениях МЧС России

Начало отечественных исследований в конце 80-х гг. прошлого столетия в области создания робототехнических средств (РТС) и их применения в экстремальных условиях было обусловлено необходимостью ограждения личного состава, участвующего в ликвидации пожаров и аварий от действия радиоактивного облучения. В дальнейшем, вследствие увеличения числа аварий и пожаров, область применения робототехнических средств расширилась [18].

Активное развитие и внедрение робототехнических технологий в систему МЧС России начинается в конце 90-х – начале 2000-х, когда была разработана и утверждена «Концепция развития, оснащения и применения робототехнических

средств в единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».

На сегодняшний день для устойчивого развития и совершенствования роботизированных технологий в МЧС России разработана «Концепция развития робототехнических комплексов (систем) специального назначения в системе МЧС России до 2030 года», которая определила основные направления и приоритеты развития робототехники [58].

Впервые обширное применение мобильная робототехника получила при ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС. В кратчайшие сроки ведущими институтами СССР были разработаны опытные образцы робототехнических средств, принимавшие непосредственное участие в ликвидации аварии. В зависимости от выполняемых задач и условий работы все роботы обладали набором определенных органов и систем, посредством которых и осуществлялся радиационный мониторинг местности, отбор радиоактивных материалов, фото и видеосъемка, очистка местности от радиоактивных веществ и ее дезактивация. Работы по ликвидации ЧС не прекращались ни на минуту, общая группировка робототехнических средств, включая и зарубежные образцы, составила около 40 единиц, заменив на многих участках работ человека, тем самым сохранив десятки жизней [59].

Наиболее известными отечественными разработками того времени являются инженерный робототехнический комплекс «Клин 1», разработанный ВНИИ «Трансмаш», специализированный транспортный робот СТР-1 (рисунок 1.13), ставший результатом кропотливой работы нескольких институтов. Интересен тот факт, что при разработке СТР-1 за основу были взяты наработки ВНИИ «Трансмаш» по самоходному шасси лунохода. Также стоит отметить мобильные роботы Мобот-Ч-ХВ и Мобот-Ч-ХВ-2, разработанные МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Оснащались данные образцы оборудованием для проведения радиационной разведки и очистки кровли ЧАЭС от радиоактивных обломков [60, 61].



Рисунок 1.13 – Специализированный транспортный робот СТР-1 проводит работы по очистке кровли от радиоактивных обломков

Именно Чернобыльская авария стала началом развития и совершенствования робототехники в России.

Опыт Чернобыля пригодился и при ликвидации техногенной катастрофы, произошедшей 17 июня 1997 года во Всероссийском научно-исследовательском институте экспериментальной физики, где во время проведения работ по сборке стенда размножающихся систем была допущена ошибка, которая привела к возникновению самоподдерживающейся цепной реакции. Для ликвидации чрезвычайной ситуации применялись четыре мобильных робототехнических комплекса, основными видами работ которых были разведка и радиационный мониторинг загрязненной территории, разделение и укладка в контейнеры частей радиоактивного стенда, эвакуация неисправного оборудования из загрязненной зоны [62].

Помимо ликвидации аварий, мобильная робототехника применялась и при тушении наиболее сложных пожаров. Так, 26 мая 2011 года на территории арсенала Главного ракетно-артиллерийского управления Министерства обороны

Российской Федерации, расположенного в республике Башкортостан, произошло возгорание находившихся в хранилище запасов пороха. В результате пожара, огонь быстро распространился на соседние складские помещения, в одном из которых располагались сигнальные ракеты, что привело к их срабатыванию и разлету на расстояния до 400 метров. Это условие способствовало возникновению новых очагов пожара, создавая при этом реальную угрозу для участников тушения пожара.

В результате возгорания складских помещений с боеприпасами произошёл ряд мощных взрывов, которые привели к уничтожению до 95% всех построек, находившихся на территории восковой части, а также повреждению близлежащих строений и зданий поселка Урман. С целью недопущения распространения огня и для обеспечения безопасности участников тушения пожара к ликвидации ЧС была привлечена группировка мобильных робототехнических средств пожаротушения в составе трех единиц: ЕЛЬ-10, ЕЛЬ-4 и ЛУФ-60, которые выполняли работы по тушению скрытых очагов пожара, обеспечивая условия для работы основных сил пожарных подразделений (рисунок 1.14) [63].



Рисунок 1.14 – Противопожарный робототехнический комплекс ЕЛЬ-4 осуществляет тушение построек на территории воинской части

Широкое применение робототехнические средства нашли при выполнении таких задач, как разминирование территории (Чеченская Республика), уничтожение баллонов с термитными смесями (Вологодская область), тушение пожаров на войсковых арсеналах (Республика Башкортостан, Республика Удмуртия), тушение лесных пожаров (Нижегородская область) и др.

Если раньше мобильная робототехника разрабатывалась больше для применения на открытой местности, то сегодня есть потребность в разработке образцов, способных проводить работы как на открытой территории, так и внутри различных зданий и сооружений.

Так, при тушении пожара, произошедшего 8 декабря 2016 года в производственном здании в г. Чита, ввиду образовавшихся угроз выброса аммиака и обрушения горящих перекрытий внутри здания была задействована мобильная установка пожаротушения роботизированная (далее – МУПР).

В результате пожара произошло обрушение перекрытий второго этажа, и МУПР оказалась под завалами, получив значительные повреждения (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 – Повреждения мобильной установки пожаротушения, полученные при тушении пожара

Благодаря своим тактико-техническим характеристикам МУПР активно проводила работы по пожаротушению внутри горящего здания, что позволило заменить человека и сохранить ему жизнь.

На сегодняшний день применение робототехники начинает набирать обороты: требуется разработка как новых технических решений для существующей робототехники, новых образцов мобильной робототехники, так и методической базы, связанной с технологией применения робототехники для тушения пожаров и ликвидации ЧС.

Потребность в создании пожарной робототехники была обусловлена результатом развития и совершенствования общества в целом, повлекших за собой возникновение крупных пожаров и аварий. Во многом функции пожаротушения и ликвидации ЧС, а равнозначно и защиты людей и материальных ценностей, лежат на подразделениях МЧС России, где начали заниматься созданием мобильной робототехники. Одним из первых решением данных вопросов начал заниматься С.Г. Цариченко, обосновывая необходимость создания и развития экстремальной робототехники для решения задач, стоящих перед МЧС России. Под его руководством во ВНИИПО МЧС России был создан отдел, непосредственно занимающийся разработкой и применением робототехники различных классов и видов не только для целей пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, но и для мониторинга обстановки с воздуха, для проведения работ под водой и пр. Все его работы [11–15] содержат обоснованные выводы о необходимости разработки и совершенствования этого направления с целью повышения эффективности подразделений и защищенности людей, принимающих непосредственное участие в процессе тушения пожаров и ликвидации ЧС.

Перспективность развития робототехники в системе МЧС России и ее необходимость при решении некоторых сложных задач способствовали выработке некой концепции создания мобильной робототехники. В концепции нашли свое отражение вопросы, выражающие научно-методические основы оснащения необходимым количеством образцов робототехники, обосновывались требования к конструкции и были отмечены аспекты, связанные с технологией применения разрабатываемой техники, в том числе и в условиях радиации. Здесь по праву можно отметить работы С.П. Тодосейчука [16–20], которые позволили

сформировать эти требования, нашедшие свое отражение и в некоторых нормативных документах, касающихся именно мобильной робототехники.

Любая создаваемая специальная техника разрабатывается под условия, в которых планируется ее применение и наделяется рядом функций, которые необходимо выполнять для достижения поставленной цели. Этот факт справедлив и для мобильной робототехники. Условия, в которых приходится применять робототехнику для тушения пожаров или ликвидации ЧС, могут зависеть и от типа объекта, что также влияет на технологию применения РТС. Так, тушению пожаров в резервуарных парках посредством мобильной робототехники пожаротушения был посвящен ряд работ К.С. Власова [23–26]. В них разрабатывались модели и алгоритмы поддержки принятия решений при тушении пожаров в резервуарных парках с использованием мобильных робототехнических средств.

Наряду с резервуарными парками можно выделить и объекты энергетики, специфика которых также требует к себе отдельного внимания. Однако должного внимания, выражающегося в создании специальной роботизированной техники пожаротушения и разработке основ ее применения, не было уделено, хотя потребность в этом присутствует.

О потребности и перспективности создания и применения робототехники на объектах энергетики свидетельствуют работы А.К. Микеева [2–4], в которых собран и обобщен материал практически по всем крупным пожарам, происходившим на объектах атомной энергетики, предложены пути решения складывающихся при пожаре проблем, одним из которых является применение робототехнических средств.

Необходимость разработки и создания специальной пожарной и аварийно-спасательной техники, для обеспечения пожарной безопасности объектов энергетики подтверждена также работами М.В. Алешкова [5–7]. В них рассматривалась не только специфика объекта, но и климатические условия, в которых находится объект энергетики, которые также влияют на технологию тушения. В результате проведенных исследований были разработаны образцы

пожарной техники, относящиеся к парку специальных машин, позволяющие эффективно тушить пожары, на объектах энергетики, расположенных в сложных климатических условиях.

Проведенный анализ существующих образцов мобильной робототехники пожаротушения, находящейся в подразделениях МЧС России, позволяет говорить о том, что на данный момент не существует специально разработанного для объектов энергетики образца мобильной робототехники, сочетающего в себе все особенности. Анализ же тактико-технических характеристик существующей робототехники позволяет сделать вывод, что ее невозможно в полной мере применять на объектах энергетики, в связи с чем требуется разработка робототехнического средства, применимого для решения задач, связанных с тушением пожаров и ликвидацией ЧС на объектах энергетики. Помимо этого необходимо разработать тактические приемы, обеспечивающие технологию пожаротушения при применении рассматриваемой техники [64].

1.3 Постановка целей и задач исследования

Проведенный анализ особенностей, возникающих при тушении пожаров на объектах энергетики, позволил сформулировать условия, при которых разрабатываемое робототехническое средство должно оставаться работоспособным, и определить функции, обеспечивающие эффективное тушение пожаров на объекте энергетики. Основные требования, предъявляемые к мобильному робототехническому средству пожаротушения, применимому на объектах энергетики, представлены в виде схемы на рисунке 1.16.

Основными же функциями, которыми должно обладать робототехническое средство пожаротушения, являются:

– подача огнетушащих веществ с расходом, позволяющим бороться с крупными пожарами, а также производить охлаждение строительных конструкций, при перегреве которых зачастую происходит их обрушение на значительных площадях;

– тушение пожаров, возникающих на электрооборудовании, что является особо значимым аспектом на объектах энергетики.

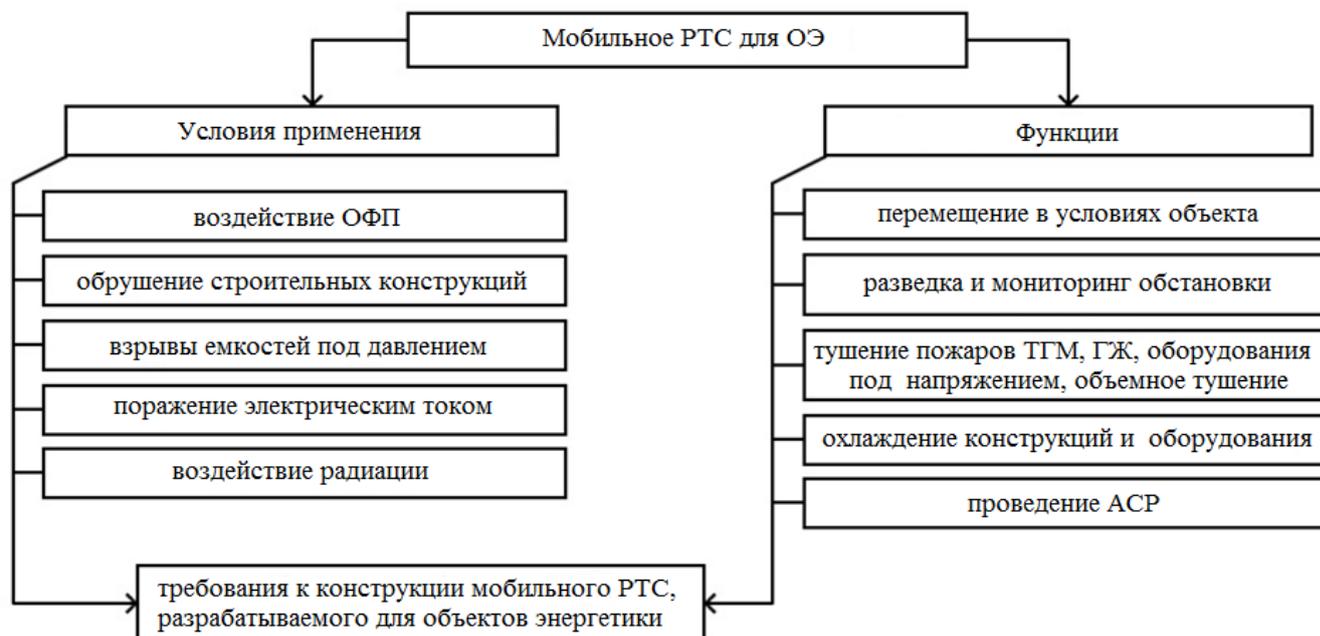


Рисунок 1.16 – Формирование требований к разрабатываемому РТС

Формирование требований к конструкции мобильного робототехнического средства пожаротушения и его создание требуют ряда аналитических и экспериментальных исследований.

Необходимо подобрать огнетушащие составы и средства их подачи, которые будут интегрированы в конструкцию мобильного робота и за счет чего и будет осуществляться тушение пожаров.

Экспериментальным путем необходимо определить параметры, влияющие на тактические возможности разрабатываемой робототехники, с целью их учета при создании опытного образца.

Сформированные требования позволят разработать концепцию создания мобильного робототехнического средства, применение которого при тушении пожаров на объектах энергетики позволит повысить эффективность пожарных подразделений.

В связи с этим основной целью исследования является обоснование применения мобильных робототехнических средств для тушения пожаров на объектах энергетики.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- 1) провести анализ пожаров и аварий, произошедших на объектах энергетики, и выявить особенности их тушения;
- 2) провести исследования и обосновать параметры, влияющие на тактико-технические характеристики робототехнического средства пожаротушения, разрабатываемого для объектов энергетики;
- 3) провести исследования гидравлических характеристик систем подачи огнетушащих веществ, интегрированных в конструкцию робототехнического средства пожаротушения;
- 4) обосновать параметры и разработать опытный образец мобильного робототехнического средства применимого для пожаротушения на объектах энергетики;
- 5) разработать тактические приемы использования мобильных робототехнических средств для тушения пожаров на объектах энергетики.

ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ПРИ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Тактические возможности пожарных подразделений зависят от подготовки личного состава и тактико-технических характеристик эксплуатируемой техники, в зависимости от которых разрабатывается и методика ее применения.

Основным предназначением робототехники является выполнение ею двух основных типов задач: социальной и экономической. Социальная задача подразумевает под собой защиту людей, в том числе и при замене участников тушения пожара на наиболее сложных и опасных участках работ, а экономическая – защиту материальных ценностей от огня [65].

Успешное выполнение этих задач говорит об эффективности мобильной робототехники, которая достигается путем оснащения ее техническими средствами, позволяющими ей выполнять поставленные задачи и оставаться работоспособной в условиях возникающих угроз.

Актуальность применения мобильной робототехники состоит в замене людей на наиболее опасных участках. Опасные участки или зоны характеризуются параметрами, оказывающими губительное воздействие на людей, в зависимости от типа происходящего ЧС. Значения данных параметров отражены в приложении «А» нормативного документа [66].

На основании этих параметров формируются общие технические требования к конструкции робототехники, которые содержат следующие разделы [18]:

- назначение (выполняемые виды работ и функции);
- живучесть (сохранение работоспособности в условиях возникающих угроз);
- маневренность (свободное перемещение в условиях объекта или на территории, на которой применяется робототехника);

- транспортабельность (возможность доставки доступными видами транспорта к месту тушения пожара или ликвидации ЧС);

- ремонтнопригодность и обслуживание (должна быть ремонтнопригодной, поддержание ее работоспособности достигается проведением технического обслуживания);

- надежность (способность оставаться работоспособной и выполнять свои функции за весь срок эксплуатации).

Именно рассмотренные особенности являются общими для всех робототехнических средств независимо от целей или среды применения.

Помимо общих технических требований существуют и частные, которые возникают исходя из условий применения и выполняемых функций.

Было установлено, что при тушении пожаров на объектах энергетики, конструкция робототехнического средства должна обеспечивать выполнение ряда функций, направленных на тушение пожара, а именно [67]:

- проведение разведки и мониторинг обстановки на пожаре;
- поиск скрытых очагов горения;
- подача огнетушащих веществ с интенсивностью 0,20 л/(м²с) (машинные залы) [44] и дальностью подачи не менее 30 м;

- подача огнетушащих веществ на защиту строительных конструкций и оборудования;

- тушение пожаров электрооборудования под напряжением;

- тушение пожаров в замкнутых объемах;

- подача огнетушащих веществ через оградительные конструкции для тушения пожара в случае, если невозможно подобраться к очагу пожара;

- проведение дополнительных работ в виде резки, разборки и транспортировки конструкций или иных объектов.

Рассмотренные функции являются основными при тушении пожаров на объектах энергетики. Но в зависимости от оснащения конструкции робототехнического средства техническими устройствами возможно и выполнение дополнительных функций, что увеличивает его возможности.

Основным предназначением применяемого образца мобильной робототехники является проведение работ по тушению пожаров, при этом рассматриваются различные виды пожаров (горение нефтепродуктов, газообразных продуктов, твердых горючих материалов, и пр.). Особое внимание необходимо уделить тушению пожаров электрооборудования под напряжением, так как они представляют особую угрозу.

В связи с этим, для эффективной борьбы с огнем при помощи разрабатываемого робототехнического средства необходимо произвести подбор огнетушащих составов и средств их подачи, которыми будет оснащаться конструкция РТС для выполнения указанных функций.

При подборе огнетушащих составов следует обращать внимание на то, что основным условием, влияющим на живучесть робототехники при тушении пожаров электрооборудования, является минимизация токов утечки, которые будут протекать по струе огнетушащего вещества и могут воздействовать на электронные системы РТС.

2.1 Огнетушащие составы, применяемые при тушении пожаров на объектах энергетики

Анализом пожаров и аварий, происходивших в разное время на объектах энергетики, было установлено, что большинство пожаров возникало в машинных залах электростанций и зачастую сопровождалось обрушением их кровли. Этот фактор в первую очередь создает серьезную угрозу для участников тушения пожара и является причиной выхода из строя не горящего оборудования. В результате обрушения кровли электростанция на длительное время остается неработоспособной.

Пожары в машинных залах, в результате которых происходит обрушение конструкций, зачастую происходят при горении турбинного масла или водорода, для тушения которых необходимо применять распыленные струи воды и пены средней кратности [35].

Одновременно с этим для предотвращения распространения огня, охлаждения металлических ферм покрытий машинных залов и соседнего оборудования необходимо осуществлять подачу огнетушащих веществ в виде компактных и распыленных струй воды или пены средней кратности.

Интенсивность подачи воды при тушении пожаров в машинных залах должна составлять 0,20 л/(м² с). Заданная интенсивность подачи огнетушащих веществ позволяет говорить о том, что для тушения пожаров даже небольших площадей требуется значительное количество огнетушащих веществ. Требуемый расход огнетушащего вещества определяется по формуле 2.1 [44]:

$$Q_{mp}^m = P_m \cdot U_{mp} \quad (2.1)$$

где P_m – величина расчетного параметра тушения пожара;

U_{mp} – интенсивность подачи огнетушащего средства, л/(м² с).

Согласно формуле 2.1 при заданной интенсивности подачи огнетушащих веществ для тушения пожара площадью 50 м² требуется подача 10 л/с огнетушащего вещества. Учитывая, что количество масла в маслосистемах достигает нескольких тонн, и в случае повреждения маслопровода может занимать обширную площадь, то необходимо предусмотреть в конструкции РТС дистанционно-управляемый ствол с возможностью изменения угла подачи огнетушащих веществ (распыленная, компактная струя) и с расходом огнетушащих веществ от 15 до 20 л/с. При этом должна обеспечиваться подача огнетушащих веществ в виде пены средней кратности, а дальность подачи огнетушащих веществ обоих видов должна быть не менее 30 м.

Рассматриваемые огнетушащие составы применимы для тушения пожаров масляных выключателей, реакторов, кабельных туннелей, в котельных отделениях и пр. [35].

Одним из преимуществ рассматриваемых огнетушащих составов является их распространенность и малая стоимость.

Тушение пожаров электрооборудования под напряжением требует отдельного внимания. В случае с применением мобильной робототехники

возникают дополнительные трудности, которые необходимо учесть при выборе огнетушащего состава.

Как уже было отмечено, основным преимуществом использования мобильной робототехники пожаротушения при ликвидации пожаров на электрооборудовании является возможность ее применения при условиях, когда невозможно обесточить электрооборудование, а напряжение на его токоведущих частях не позволяет производить тушение с участием человека. Но электрический ток может воздействовать как на человеческий организм, так и на системы РТС, выводя их из строя. В связи с этим необходимо подобрать огнетушащие составы, наиболее подходящие для тушения пожаров электрооборудования под напряжением, ток утечки по струям которых будет минимален.

В результате изучения научно-технической литературы в области тушения пожаров электрооборудования было установлено, что для этих целей применимы такие огнетушащие вещества как: вода, газовые составы (хладоны, углекислота), порошковые составы различных марок и пр.

Одним из наиболее эффективных огнетушащих составов является огнетушащий порошок. В качестве основы для порошков используются фосфорно-аммонийные соли, карбонат и бикарбонат натрия, хлориды натрия и калия и др., а в качестве добавок – стеараты металлов, кремнийорганические соединения, тальк, нефелин и др. [68].

По своим огнетушащим параметрам порошки являются наиболее универсальными. Их возможно применять при тушении пожаров классов А (твердые горючие вещества), В (горючие жидкости), С (газы), Д (горючие металлы) и класс Е (электрооборудование под напряжением до 1 кВ). Существуют и универсальные порошки, применяемые для тушения пожаров нескольких классов (А В С Е или В С Е).

Отдельно хотелось бы выделить возможности порошковых составов при тушении пожаров класса Е. Проведенные исследования [69, 70] подтверждают, что порошковые огнетушащие составы обладают хорошими диэлектрическими

свойствами. Так, при подаче огнетушащих порошков типа ПСБ и П-1 на мишень напряжением 70 кВ ток утечки не превышал 0,005 мА.

К недостаткам порошкового тушения можно отнести слабый охлаждающий эффект порошка, образование пробок в результате слеживания порошка, что приводит к отказу в работе порошковых систем пожаротушения. Также при работе порошковых систем пожаротушения существенно ухудшается видимость, происходит значительное загрязнение помещений, и, как следствие, порча имущества и оборудования.

В случае с мобильной робототехникой еще одним недостатком будет являться ограниченное время работы у очага. Ограниченный запас порошка исключает возможность длительного тушения и повторной его подачи в случае необходимости, а вывоз собственного запаса порошка робототехническим средством увеличивает его массовые и габаритные характеристики, что снижает маневренность и транспортабельность конструкции.

Другим видом тушения пожаров электрооборудования под напряжением является газовое пожаротушение. В качестве огнетушащих газов могут применяться фторированный кетон, хладоны, азот, аргон, но самым распространенным является углекислый газ (CO_2). Углекислый газ является хорошим огнетушащим веществом, позволяющим производить тушение пожаров электрооборудования под напряжением до 10000 В [71].

Принцип тушения пожара углекислым газом состоит в разбавлении воздуха в зоне горения до концентраций, при которых горение невозможно. Углекислый газ чаще всего используется при тушении пожаров классов В, С, Е, а также для сбивания пламени при пожарах класса А.

Положительными особенностями углекислотного тушения является проникающая способность углекислого газа, которая позволяет осуществлять тушение в закрытых установках, в корпусах оборудования и в помещениях, представляющих замкнутый объем. При этом, в отличие от порошкового пожаротушения, оборудованию, находящемуся в помещении, не причиняется никакого вреда, что эффективно с экономической точки зрения [72].

К недостаткам углекислотного тушения можно отнести:

– углекислый газ имеет низкий охлаждающий эффект. В связи с этим поверхность горючего вещества продолжает оставаться хорошо прогретой, что повышает вероятность повторного воспламенения;

– углекислотное тушение эффективно лишь в замкнутых объёмах. Необходимая концентрация углекислого газа в воздухе, при которой невозможно горение, должна поддерживаться до тех пор, пока оно не прекратится полностью. В связи с этим применение углекислого газа при тушении пожаров электрооборудования, находящегося на открытых площадках малоэффективно, также оно может быть малоэффективным при изменении газообмена в помещении. Это условие относится и к другим газовым огнетушащим составам, таким как хладон, азот и др.

Вопрос, связанный с безопасностью тушения электрооборудования под напряжением углекислым газом, был исследован авторами работы [69]. Они установили, что ток утечки по струе диоксида углерода, подаваемого из огнетушителей ОУ-2 и ОУ-5, при напряжении на мишени 70 кВ с расстояния 0,25 м не превышал допустимых значений и возрастал относительно тока утечки по воздуху не более чем на 0,01 мА.

Несмотря на все преимущества, подача газовых огнетушащих веществ при помощи робототехники подразумевает наличие в конструкции РТС емкостей с газом, что также снижает маневренность и транспортабельность. Дальность подачи огнетушащих веществ является относительно небольшой, что также создает дополнительные трудности при подаче огнетушащего газа на тушение.

Воздушно-механическая пена, применяемая при тушении пожаров, представляет собой дисперсную систему, состоящую из пузырьков газа (воздуха), разделенных пленками жидкости [73].

Воздушно-механическая пена имеет огнетушащее свойство, в первую очередь, за счет изоляции горючего вещества от притока кислорода. При тушении горючих и легковоспламеняющихся жидкостей пена не только изолирует поверхность горючего вещества от притока кислорода, но и препятствует

испарению жидкости, тем самым снижая вероятность образования горючей смеси. Помимо этого, огнетушащий эффект достигается за счет охлаждения поверхности горящего вещества жидкостью, входящей в состав пен.

Применение пенных растворов возможно при тушении пожаров только на обесточенном электрооборудовании. Наиболее часто пену применяют при тушении пожаров, приносящих наибольший ущерб – пожаров в кабельных туннелях (80–90% ущерба от общей суммы) [35].

Применение же пенных растворов при тушении не обесточенного электрооборудования категорически запрещается ввиду хорошей электропроводности воздушно-механической пены.

Наиболее часто при тушении пожаров применяют самое распространенное средство пожаротушения – воду. Вода в разных своих состояниях является хорошим огнетушащим веществом, но ее применение при различных условиях может быть ограничено. Например, при тушении пожаров электрооборудования. Однако есть способы и методы, при которых возможно применение воды даже для тушения такого рода пожаров.

Ряд научно-исследовательских работ [69, 70, 74–76] посвящен возможности применения воды при тушении пожаров электрооборудования под напряжением. Более того, применение воды при тушении пожаров электрооборудования закреплено и на нормативном уровне [41–43, 77].

Основным критерием безопасности является расстояние от средств подачи огнетушащих веществ до горящего электрооборудования. Это условие в основном относится к ситуациям, когда в тушении электрооборудования принимает участие человек. Но в нашем случае также необходимо учитывать возникающие токи утечки, следовательно, нужно говорить и о расстояниях и аппаратах защиты электронных устройств разрабатываемого робототехнического средства.

Безопасные расстояния, при которых возможна подача воды на тушение пожаров электрооборудования под напряжением, зависят от возникающих токов утечки, проходящих по огнетушащей струе. За параметр, при котором возможно применение огнетушащих веществ при тушении пожаров электрооборудования,

принимается значение, равное 0,5 мА, при котором человек еще не воспринимает болевые ощущения [78].

На изменение силы тока утечки могут оказывать влияние различные факторы, начиная с удельного сопротивления воды и заканчивая размерами распылительных форсунок средств тушения. Так, авторами работы [69] были определены безопасные расстояния для ствольщиков, полученные при использовании воды удельным сопротивлением 10 Ом·м, в зависимости от напряжения и насадка распылителя (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Минимально допустимые расстояния от ствола до электрооборудования под напряжением для струи воды с удельным сопротивлением 10 Ом м

Номинальное напряжение, кВ	Допустимый диаметр насадка-распылителя, мм	Минимальное расстояние от ствола до источника высокого напряжения, м
До 1	4	3,5
1–3	6,5	4,0
3–10	8	4,5

Но данные, представленные в таблице 2.1, не охватывают полного спектра вопросов, связанных с безопасным применением воды при тушении пожаров электрооборудования под напряжением.

Исследования [69, 70], проводимые с компактными струями, электропроводностью 0,143 см/м и удельным сопротивлением 6,993 Ом·м, позволили определить безопасные расстояния для ствольщиков при подаче огнетушащих веществ на электрооборудование, находящееся под напряжением до 10 кВ и до 100 кВ, из стволов с диаметрами насадков от 5 до 25 мм. Полученные данные приведены на рисунках 2.1 и 2.2 [70].

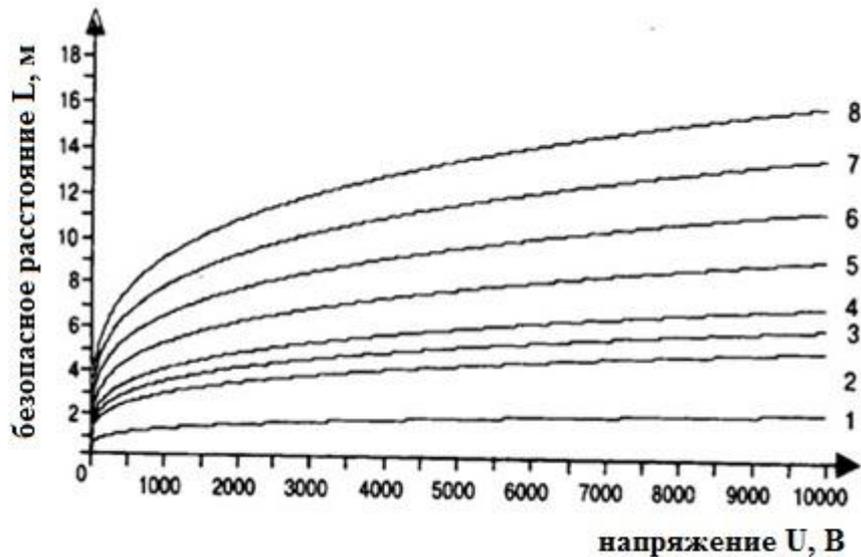


Рисунок 2.1 – Зависимости безопасных расстояний от напряжения на мишени до 10 кВ для диаметров насадков:

1 – 5 мм; 2 – 10 мм; 3 – 11,5 мм; 4 – 13 мм; 5 – 16 мм; 6 – 19 мм; 7 – 22 мм; 8 – 25 мм

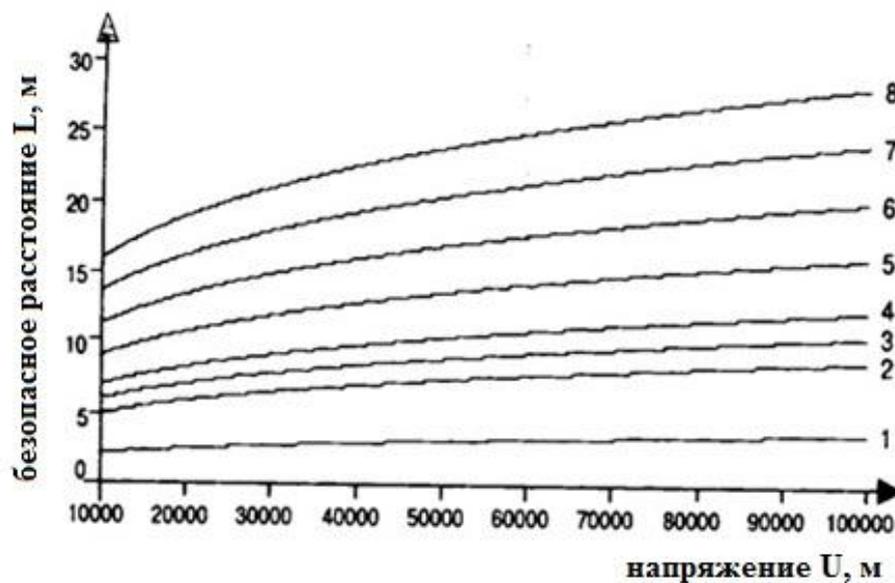


Рисунок 2.2 – Зависимости безопасных расстояний

от напряжения на мишени до 100 кВ для диаметров насадков:

1 – 5 мм; 2 – 10 мм; 3 – 11,5 мм; 4 – 13 мм; 5 – 16 мм; 6 – 19 мм; 7 – 22 мм; 8 – 25 мм

Результаты проведенных испытаний позволили получить зависимость (2.2), в которой расстояние от ствола до мишени зависит от диаметра насадка, напряжения на мишени, удельного сопротивления воды и предельно допустимого тока [70]:

$$L = 39d \left(\frac{U_{миш} \cdot d}{\rho \cdot j_{дон}} \right)^{0,25}, \quad (2.2)$$

где d – диаметр насадка-распылителя, м, $U_{миш}$ – напряжение на мишени, В, ρ – удельное сопротивление воды, Ом·м, $j_{дон}$ – предельно допустимый ток, А.

Помимо этого проводились исследования по определению безопасных расстояний, учитывающих сопротивление, близкое к сопротивлению тела человека (560 Ом), при подаче воды из различных источников. Было выявлено, что вода, находящаяся в различных источниках, имеет различные физические параметры, влияющие на токи утечки [75].

Автором работы [74] были исследованы возможности тушения пожаров электрооборудования под напряжением ручными стволами «КУРС-8» и «РСКУ-50А» с регулируемым расходом огнетушащих веществ. Особенностью данной работы являлось то, что были исследованы ручные водяные стволы, наиболее распространённые в пожарной охране. Проведенные исследования позволили установить, что значения токов утечки по струе огнетушащего вещества зависят от расхода на стволе и напряжения на горящем электрооборудовании, а наиболее безопасным условием применения рассматриваемых стволов при тушении пожаров электрооборудования напряжением до 36 кВ является расстояние не менее 12 м, что снижает тактические возможности пожарных подразделений.

Благодаря исследованиям, проведенным в рассмотренных выше работах, удалось установить, что при использовании воды в качестве огнетушащего вещества необходимо учитывать большое количество факторов. Значения токов утечки, возникающих при использовании дистанционно-управляемого лафетного ствола с расходом от 15 до 20 л/с, могут негативно сказаться на работоспособности разрабатываемого робототехнического средства. При этом трудно предусмотреть не только защитные механизмы для самой конструкции РТС, но и средства его заземления. В связи с этим нельзя в полной мере использовать выбранное средство тушения и для борьбы с пожарами, возникающими на электрооборудовании под напряжением, следовательно, необходимо предусмотреть и другой вид огнетушащего вещества.

Одним из состояний воды является тонкораспыленная вода, которая в последнее время все чаще применяется при тушении пожаров и неоднократно подтверждала свою эффективность.

Тонкораспыленная вода согласно [79] представляет собой воду, средний диаметр капель которой не превышает 150 мкм. Однако за рубежом к тонкораспыленной воде могут относить системы, формирующие капли жидкости, средний диаметр которых может достигать до 450 мкм [80]. Тем не менее, проведенные исследования показывают, что наиболее эффективными огнетушащими свойствами обладает тонкораспыленная вода со средним диаметром капель, не превышающим 200 мкм [81].

О перспективности использования тонкораспыленной воды в качестве огнетушащего вещества говорят многие специалисты. Положительной особенностью тонкораспыленной воды, помимо поверхностного способа тушения пожаров, является локально-объемный способ тушения [82].

Основным критерием, характеризующим огнетушащую способность тонкораспыленной воды, является размер капель жидкости (степень дисперсности). Капли, имея малые размеры, при попадании в зону горения (в зону высокой температуры) начинают интенсивно испаряться, отводя большое количество тепла. При этом до 90% всех капель, попавших в зону горения, испаряется, и только 10% превращается в «бесполезную» воду, падая на пол. Высокая скорость капель жидкости обусловлена тем, что капля, попадая в зону горения должна преодолеть конвективные потоки и достичь очага. Это условие достигается за счет применения насосных установок, работающих под давлением не менее 20 МПа [81–83].

Важной особенностью тонкораспыленной воды является то, что помимо огнетушащего эффекта она обладает возможностью осаждения частиц дыма или радиоактивной пыли. Это условие может оказывать положительное воздействие при тушении пожаров на объектах атомной энергетики, где возможны выбросы радиоактивных продуктов [81, 83].

Тонкораспыленная вода является одним из обязательных средств тушения пожаров на объектах атомной энергетики, о чем свидетельствует нормативный документ [84], в котором отражено, что при тушении пожаров в кабельных помещениях, на силовых трансформаторах, на генераторах с воздушным охлаждением следует применять распыленную и тонкораспыленную воду.

Применение тонкораспыленной воды при тушении пожаров электрооборудования под напряжением также имеет положительные особенности. Так, проведенные исследования [85] показали, что при подаче тонкораспыленной воды на электрооборудование, находящееся под напряжением 36 кВ и 70 кВ, ток утечки не превышал значения в 0,5 мА. При этом значения тока утечки были получены для водопроводной воды с удельным сопротивлением $\rho \geq 800 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, дистиллированной воды $\rho \geq 50000 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и для дистиллированной воды с поверхностно-активными веществами (ПАВ) $\rho \geq 2050 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Ток утечки определялся разницей между максимальным значением тока и фоновым (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Значения величины тока утечки

№	Огнетушащее вещество	Номер испытания	$I_{\text{фон}}$, мкА	$I_{\text{раб}}$, мкА	$I_{\text{расч}}$, мкА	U , кВ
1	Водопроводная вода	1	9,5	11,5	2,0	36
		2		22,0	12,5	70
2	Дистиллированная вода	1	6,1	6,4	0,3	36
		2		10,0	3,9	70
3	Дистиллированная вода с ПАВ	1	5,7	6,3	0,6	36
		2		9,7	4,0	70

В большинстве своем, рассмотренные работы характеризуют стационарные системы пожаротушения, где в качестве огнетушащего вещества применяется тонкораспыленная вода. Но помимо стационарных автоматических систем пожаротушения разрабатываются и мобильные установки пожаротушения тонкораспыленной водой.

Как было ранее замечено, тонкораспыленная вода обладает объемно-локальным способом тушения. Следовательно, наибольший огнетушащий эффект

достигается при насыщении горящего объема водяным туманом. Но в случае с мобильными системами пожаротушения это условие трудновыполнимо, ввиду того, что пожарным приходится проникать внутрь горящего помещения, нарушая его герметичность и способствуя доступу кислорода к зоне горения. При этом возможно образование таких опасных явлений как объемная вспышка помещения или обратная тяга [86, 87].

Объемно-планировочные решения объектов энергетики подразумевают наличие на объекте большого количества помещений, содержащих всевозможную горючую нагрузку, в том числе и электрооборудование под напряжением. В связи с этим необходимо предусмотреть тушение пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением, размещенного в помещениях, представляющих замкнутый объем.

На сегодняшний день существует способ борьбы с такими пожарами, заключающийся в применении установок пожаротушения тонкораспыленной водой с возможностями гидроабразивной резки. Такие установки позволяют проводить локально-объемное пожаротушение, подавая огнетушащие вещества в горящий объем, не нарушая его целостности. Это условие обеспечивается за счет разрушения ограждающих строительных конструкций потоком смеси жидкости и абразива [88].

Основным представителем рассматриваемых систем являются установки пожаротушения с гидроабразивной резкой «Кобра». Средний диаметр капель, формируемых установкой, составляет 170 мкм. Установка работает под давлением в 30 МПа, скорость струи на выходе из сопла, при расходе до 60 л/мин, составляет около 200 м/с, что способствует достижению каплями очага пожара. Попадая в очаг, капли жидкости начинают интенсивно испаряться, отводя от зоны горения значительное количество теплоты, чем и достигается огнетушащий эффект. Благодаря малым размерам капель, большая их часть испаряется, что уменьшает ущерб от излишнего пролива воды при тушении пожара [89].

Абразивный материал, применяемый при резке, представляет собой твердое мелкозернистое вещество размером от 0,3 до 0,8 мм, основными компонентами

которого являются: Fe_2O_3 , FeSiO_3 , Al_2O_3 , MnO_2 , могут быть и другие составы (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Абразивный материал, применяемый для резки конструкций

Принципиальная схема установки показана на рисунке 2.4 [90].

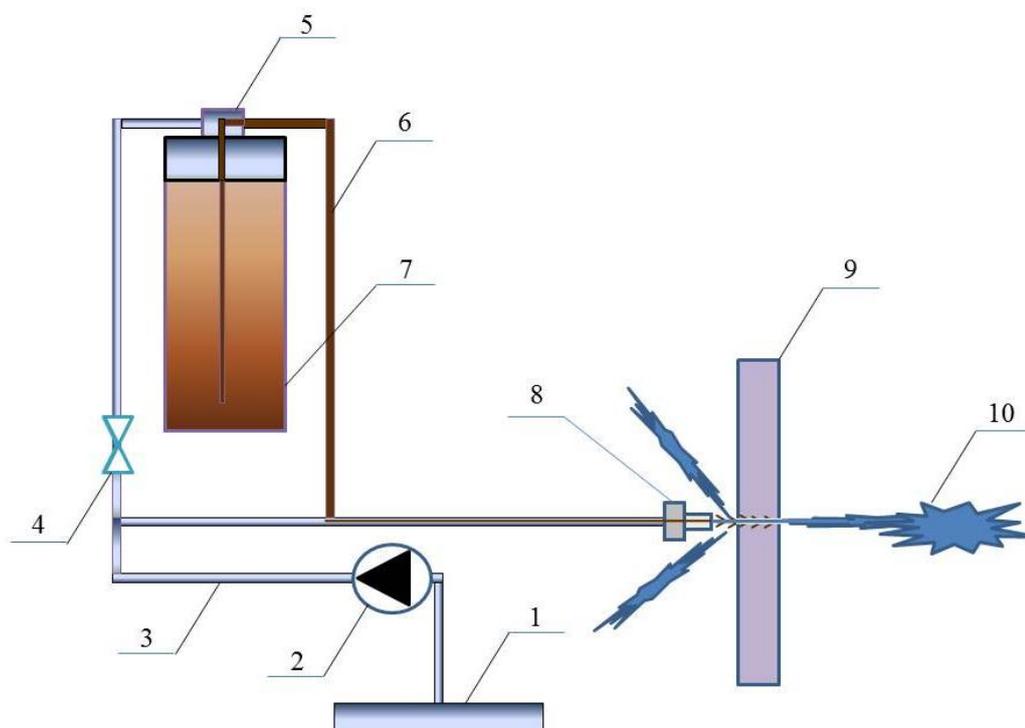


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема установки пожаротушения:

- 1 – емкость для огнетушащих веществ; 2 – насос высокого давления;
 3 – коммуникации для транспортировки ОТВ; 4 – электронный клапан для подачи воды в абразивный резервуар; 5 – горловина абразивного резервуара; 6 – коммуникации для транспортировки абразива; 7 – абразивный резервуар; 8 – распылительная насадка;
 9 – элемент конструкции здания; 10 – тонкораспыленная струя ОТВ

Из емкости (1) огнетушащие вещества за счет работы насоса высокого давления (2) поступают в рукавную систему (3), по которой транспортируются до распылительной форсунки (8) и далее подаются на тушение пожара. При

необходимости подачи огнетушащих веществ в горящий объем или при резке конструкций в результате воздействия на курок подачи абразива, расположенный на стволе установки, срабатывает электронный клапан (4) и часть воды под давлением поступает в абразивный резервуар (7) через горловину (5). Часть абразива (4% от объема воды) поступает в коммуникации для транспортировки абразива (6), дозируется в рукавную систему (3) и транспортируется до конструкции (9), которую необходимо прорезать. После того как конструкция прорезана, в результате прекращения воздействия на курок подачи абразива электронный клапан (4) перекрывается и по рукавной системе транспортируется вновь чистая вода, которая в распыленном состоянии попадает в горящее помещение и осуществляет пожаротушение [90].

Диаметр сопла распылительной форсунки составляет 2,3 мм, благодаря чему размеры отверстий при точечной резке составляют не более 6 мм, что исключает приток кислорода в зону горения (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Размер входного отверстия при точечной резке

Особенностью данных установок является возможность как дистанционного, так и ручного управления. Благодаря радиопередатчику, расположенному на стволе установки, оператор, работающий со стволом, сам управляет работой установки за счет воздействия на курки подачи воды или смеси воды и абразива (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Работа оператора со стволом установки при резке

В случае выхода радиопередатчика из строя или при осуществлении работ в условиях, когда радиосигнал не проходит, установка переключается на ручное управление, и оператор управляет работой установки непосредственно из насосного отсека.

Установки пожаротушения ввиду своих конструктивных особенностей устанавливаются на пожарные автомобили и могут являться основным или дополнительным средством тушения. Также они могут иметь контейнерное исполнение или быть установленными стационарно, например, на морских судах.

Одним из наиболее эффективных решений стало интегрирование установки в конструкцию пожарной автоцистерны, что способствовало увеличению тактического потенциала автоцистерны (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – АЦ-3,2-40/4 с установкой пожаротушения «Кобра»

Тактические особенности применения рассматриваемых систем подразумевают наличие в комплектации автомобилей тепловизоров и вентиляторов. Тепловизор необходим для обнаружения очага пожара или поиска наиболее прогретых участков конструкций, куда планируется подача огнетушащих веществ. Вентиляторная установка обеспечивает удаление продуктов горения и газов пиролиза из зоны горения после работы установки, что обеспечивает комфортные условия для работы пожарных подразделений [90, 91].

Применение рассматриваемых систем совместно с робототехникой позволит создать образец принципиально нового робототехнического средства пожаротушения. Интеграция ствола установки в конструкцию мобильного робота позволит добиться выполнения функций не только пожаротушения, но и аварийно-спасательных работ за счет резки конструкций потоком смеси воды и абразива. Отсутствие собственного запаса огнетушащих веществ в виде воды, в случае как с лафетным стволом, так и с установками пожаротушения позволяет говорить о том, что эффективным будет применение пожарных автоцистерн, оборудованных установками пожаротушения с гидроабразивной резкой, совместно с разрабатываемой робототехникой. Это условие позволит сократить количество привлекаемых автомобилей.

Благодаря возможностям гидроабразивной резки возможно проведение работ в зонах, где могут возникать взрывоопасные концентрации. Оснащение РТС роботизированным манипулятором-схватом обеспечит выполнение тактических приемов при резке и пожаротушении, а также транспортировку разрезанных конструкций или оборудования в зону утилизации.

В случае с чернобыльской аварией для целей резки и транспортировки контрольно-измерительных приборов специально было изготовлено дистанционно-управляемое устройство «Тросоход» [18].

Применение же установок пожаротушения с гидроабразивной резкой при тушении пожаров электрооборудования под напряжением требует проведения исследований. Необходимо, прежде всего, оценить значения возникающих токов утечки при подаче огнетушащих веществ в виде воды и смеси воды и абразива, которые могут возникать при тушении пожаров электрооборудования. Оценить влияние возникающих токов на конструкцию мобильного робота, осуществляющего подачу огнетушащих веществ, а также рассмотреть возможности безопасного применения установок пожаротушения личным составом подразделений при тушении пожаров электрооборудования под напряжением.

Отдельно необходимо исследовать возможности транспортировки и подачи огнетушащих веществ в виде воды и смеси воды и абразива, установить параметры, характеризующие потери напора при транспортировке и подаче огнетушащих веществ, и на основании полученных результатов установить предельные расстояния для подачи огнетушащих веществ, при которых сохраняются расходно-напорные характеристики установок пожаротушения. Эти условия во многом оказывают влияние на тактические возможности подразделений, эксплуатирующих мобильные робототехнические средства пожаротушения.

2.2 Определение значений тока утечки по струе воды и смеси воды и абразива при тушении пожаров электрооборудования под напряжением

Для определения значений тока утечки по струям воды и смеси воды и абразива, формируемым установкой пожаротушения с гидроабразивной резкой, было проведено экспериментальное исследование, в результате которого был получен массив данных, отраженных в приложении А.

Исследование проводилось на специально разработанном сотрудниками Академии стенде по определению значений тока утечки по струям различных средств тушения (рисунок 2.8) по методике, отраженной в [92].

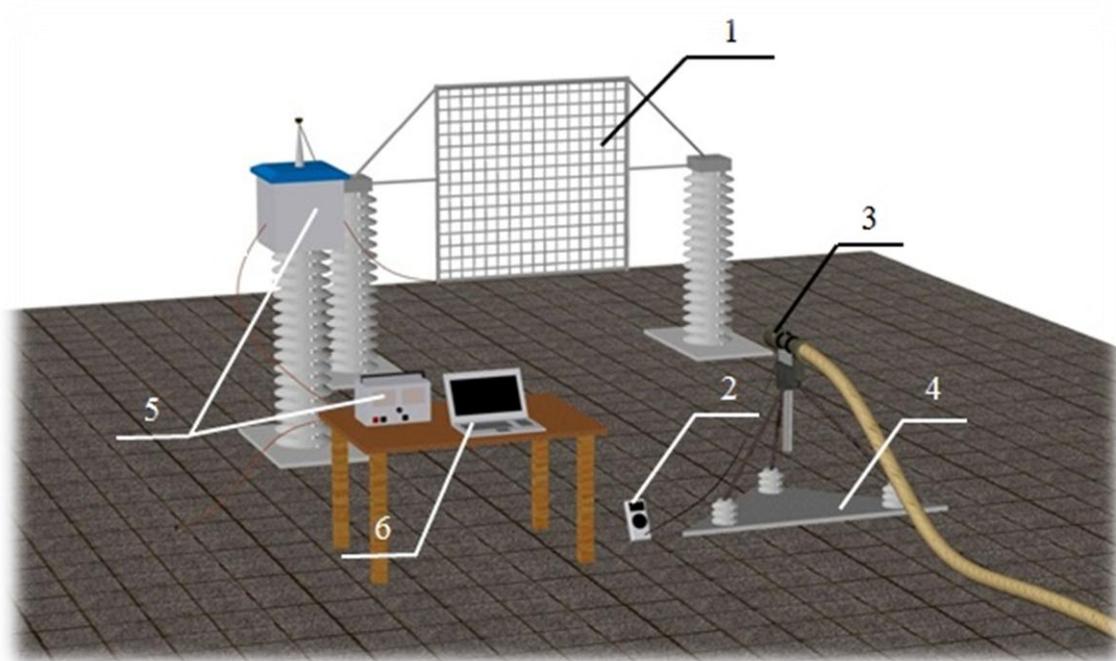


Рисунок 2.8 – Принципиальная схема стенда по определению тока утечки:

- 1 – мишень; 2 – мультиметр; 3 – ствол установки пожаротушения;
- 4 – опора с изоляторами для установки исследуемого средства тушения;
- 5 – аппарат испытания диэлектриков «АИД-70М»; 6 – компьютер для приема данных

В качестве мишени, на которую осуществлялась подача огнетушащих веществ, была применена стальная сетка, закрепленная на изоляторах ИОС-110-400 с металлическими основаниями, препятствующими опрокидыванию мишени.

Использование стальной сетки позволило решить проблему удаления отработавших огнетушащих веществ.

Источником высокого напряжения выступал аппарат для испытания диэлектриков «АИД-70М», который соединялся силовым кабелем со стальной сеткой. Аппарат для испытания диэлектриков «АИД-70М» может формировать выходные напряжения постоянного и переменного тока в диапазонах от 10 до 70 кВ, и от 10 до 50 кВ соответственно, и предназначен для испытания и диагностирования изоляции силовых кабелей, твердых диэлектриков или определения значений тока утечки по струям огнетушащих веществ [93].

Исследованиям подвергалась установка пожаротушения с гидроабразивной резкой, основные параметры которой отражены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристики установки пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки

Параметр	Значение параметра
Рабочее давление, МПа	30,0
Расход воды, л/мин	60
Расход абразива при резке, кг/мин	4,2
Скорость воды на выходе из ствола, м/с	200

Замеры тока утечки осуществлялись с расстояний от ствола до мишени 0,5 м, 1 м, 2 м, 3 м, при напряжениях на мишени на каждом из расстояний 10 кВ, 20 кВ и 30 кВ (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Определение тока утечки по струе огнетушащего вещества на расстоянии 2 м при напряжении на мишени равном 30 кВ

Проходящие по струе огнетушащего вещества токи утечки фиксировались мультиметром (2) и передавались на персональный компьютер.

Было установлено, что полученные значения токов утечки по воде заметно больше значений, полученных по смеси. Связано это с возникновением перколяционных эффектов, характеризующих протекание электричества через смесь воды и абразивных частиц. В виду того, что абразив представляет собой смесь частиц ($(\text{Fe})_2\text{SiO}_4$; SiO_2 ; Fe_3O_4), обладающих худшей электропроводностью по сравнению с водой, а их процентное содержание в смеси составляет 4% по объему от общего количества, то полученная в результате смесь воды и абразивных частиц хуже проводит электрический ток, по сравнению со струей тонкораспыленной воды.

Полученный массив данных необходимо было обработать, чтобы установить верхние предельные значения возникающих токов утечки по струе огнетушащего вещества, защиту от которых необходимо предусмотреть в конструкции РТС, а также определить условия для возможного применения рассматриваемых систем личным составом пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров электрооборудования под напряжением.

В связи с этим для полученных экспериментальных данных были определены их статистические оценки: математическое ожидание (X) и стандартное отклонение (σ).

В результате обработки экспериментальных данных было установлено, что для достижения надлежащего уровня достоверности полученных экспериментальных данных целесообразнее рассматривать не только средние значения, но и их доверительные оценки.

Основываясь на том, что экспериментальные данные распределены нормально и могут рассматриваться как совокупность значений случайной величины, была определена доверительная оценка значений тока утечки для уровня значимости $\alpha=0,001$ [94], которая рассчитывалась по формуле (2.3):

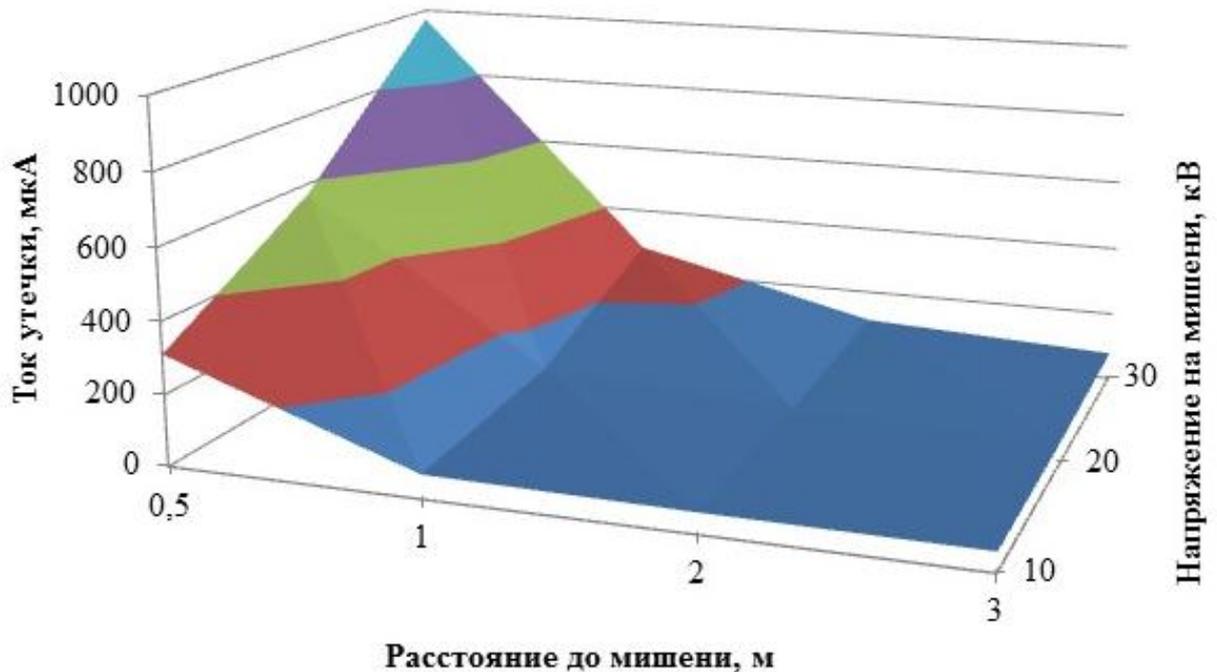
$$X_{p_{\max}} = X + 3,3 \cdot \sigma. \quad (2.3)$$

Значения статистических оценок и доверительного интервала приведены в таблице 2.4.

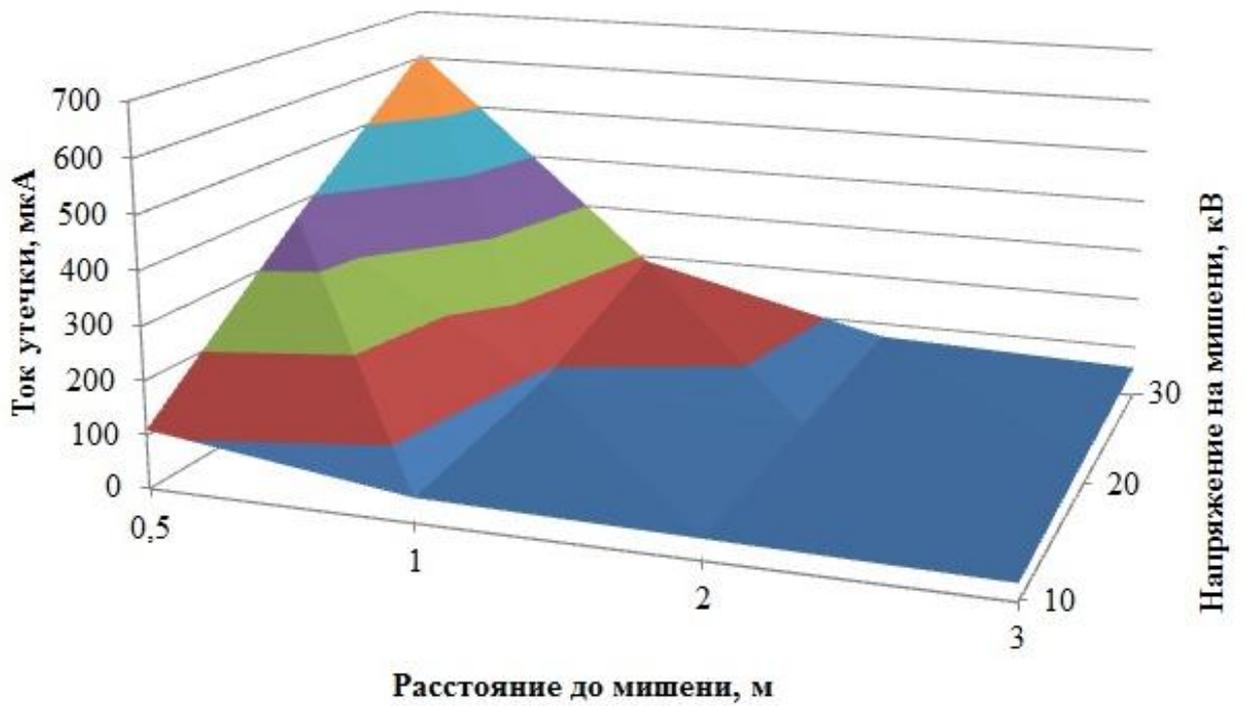
Таблица 2.4 – Статистические оценки экспериментальных данных

ОТВ	Параметр	Значение параметра в зависимости от расстояния, м											
		0,5			1,0			2,0			3,0		
		при напряжении, кВ											
		10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Вода	X	311,2	570,9	971,3	67,1	112,4	280,5	58,3	72,0	111,1	51,4	59,0	77,5
	σ	1,3	1,5	1,3	1,0	0,9	1,7	1,0	1,2	1,8	1,1	0,8	0,9
	X_{\max}	315,6	576,1	975,6	70,6	115,3	286,1	61,6	75,9	116,9	55,2	61,5	80,5
Абразив	X	110,4	371,0	610,7	46,5	90,5	190,4	38,7	55,1	72,6	31,8	47,8	57,7
	σ	1,4	1,6	1,3	0,8	1,2	1,1	0,8	1,2	1,1	0,9	0,9	0,9
	X_{\max}	114,9	376,3	614,9	49,2	94,4	194,0	41,3	59,0	76,2	34,9	50,8	60,6

Для возможности обоснованного использования значений доверительной оценки тока утечки без ущерба для полученной структуры данных произведена визуализация средних значений тока утечки и доверительных оценок (рисунки 2.10, 2.11).

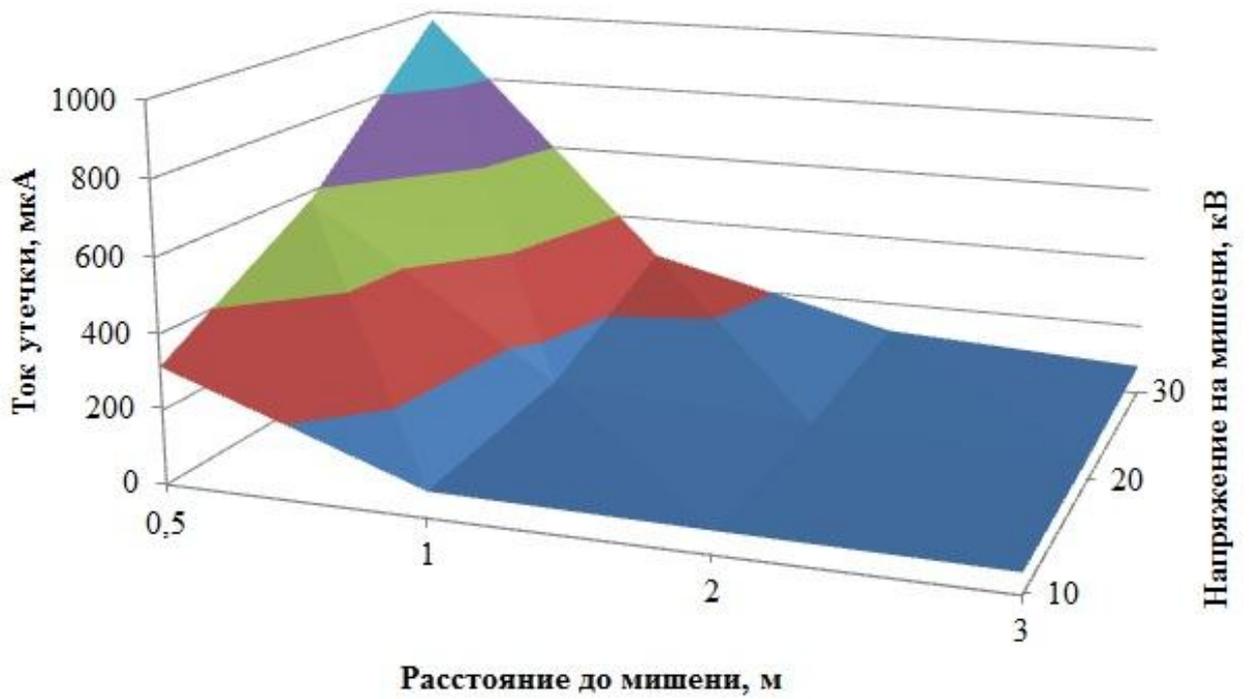


а)

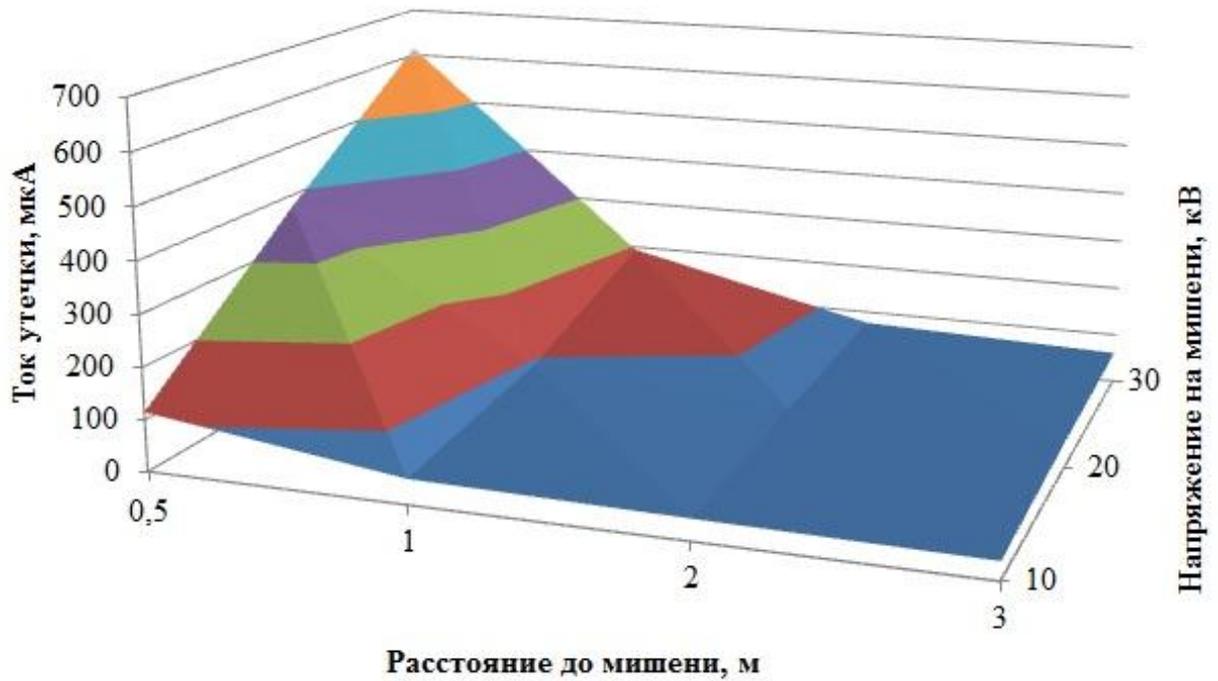


б)

Рисунок 2.10 – Графическое отображение данных математического ожидания тока утечки по воде (а) и по воде с абразивом (б)



а)



б)

Рисунок 2.11 – Графическое отображение данных доверительного интервала тока утечки по воде (а) и по воде с абразивом (б)

Полученные графические отображения данных позволяют говорить о том, что их структура при использовании доверительных оценок не изменилась в виду достаточно небольших значений стандартного отклонения по отношению к средним значениям, следовательно, для всех данных может быть получена математическая зависимость одного вида.

Опираясь на результаты исследований [74] задавались условиями, что зависимость значений тока утечки от расстояния до мишени и напряжения на ней является степенной. Для оценки степени аппроксимации экспериментальных данных был использован коэффициент детерминации R^2 .

Результаты аппроксимации экспериментальных данных представлены на рисунке 2.12 на примере значений тока утечки при напряжении на мишени 30 кВ.

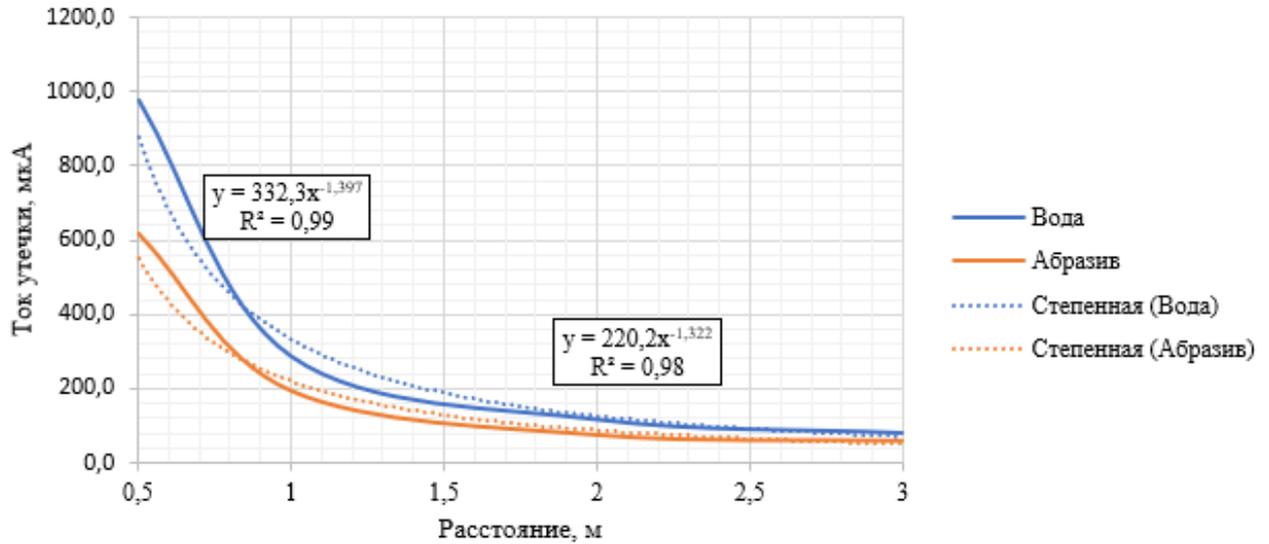


Рисунок 2.12 – Зависимость значений тока утечки от расстояния до мишени при напряжении на мишени 30 кВ

Полученные коэффициенты степенной зависимости значений тока утечки от расстояния и напряжения приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Коэффициенты уравнений регрессии

Вид струи	Напряжение на мишени, кВ	Степенная зависимость
Вода	10	$I = 120 L^{-0,916}, R^2=0,78$
	20	$I = 184,8 L^{-1,205}, R^2=0,88$
	30	$I = 332,3 L^{-1,397}, R^2=0,99$
Смесь	10	$I = 63,5 L^{-0,631}, R^2=0,88$
	20	$I = 137,3 L^{-1,096}, R^2=0,90$
	30	$I = 220,2 L^{-1,322}, R^2=0,98$

Анализ значений коэффициента детерминации R^2 позволил установить, что возникающие значения тока утечки при вариации расстояния до мишени и напряжения на ней хорошо будут аппроксимированы степенной функцией регрессии вида:

$$I = I_0 \cdot L^\alpha \cdot U^\beta, \quad (2.4)$$

где I_0 – свободный член модели, мкА (ток утечки); L – расстояние до мишени, м; ($L = 0,5; 1; 2; 3$); U – напряжение на мишени, кВ; α, β – эмпирические коэффициенты модели.

На основании анализа коэффициента детерминации R^2 , значения которого варьируются в интервале от 0,78 до 0,99, для определения коэффициентов степенной регрессии использовали доверительную вероятность 95%.

Исходные данные для построения модели представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Исходные данные для построения модели

Вода			Абразив		
I , мкА	L , м	U , кВ	I , мкА	L , м	U , кВ
315,6	0,5	10,0	114,9	0,5	10,0
576,1	0,5	20,0	376,3	0,5	20,0
975,6	0,5	30,0	614,9	0,5	30,0
70,6	1	10,0	49,2	1	10,0
115,3	1	20,0	94,4	1	20,0
286,1	1	30,0	194,0	1	30,0
61,6	2	10,0	41,3	2	10,0
75,9	2	20,0	59,0	2	20,0
116,9	2	30,0	76,2	2	30,0
55,2	3	10,0	34,9	3	10,0
61,5	3	20,0	50,8	3	20,0
80,5	3	30,0	60,6	3	30,0

Обработка экспериментальных данных осуществлялась в программе *Excel MS Office* по методике, отраженной в [95], которая позволила определить коэффициенты степенной регрессии с доверительной вероятностью 95% (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Результаты регрессионного анализа

Параметр	Коэффициент	Нижние 95%	Верхние 95%	Ст. ошибка	t-стат.
Вода					
I_0	20,57	20,29	24,05	0,682	4,431
α	-1,173	-1,60	-0,95	0,154	-7,609
β	0,775	0,45	0,90	0,232	3,339
Смесь					
I_0	7,791	5,59	8,17	0,589	3,485
α	-1,020	-1,05	-0,82	0,133	-7,637
β	0,955	0,92	1,1	0,200	4,767

При обработке экспериментальных данных было установлено, что полученная математическая зависимость (2.4) достаточно хорошо описывает

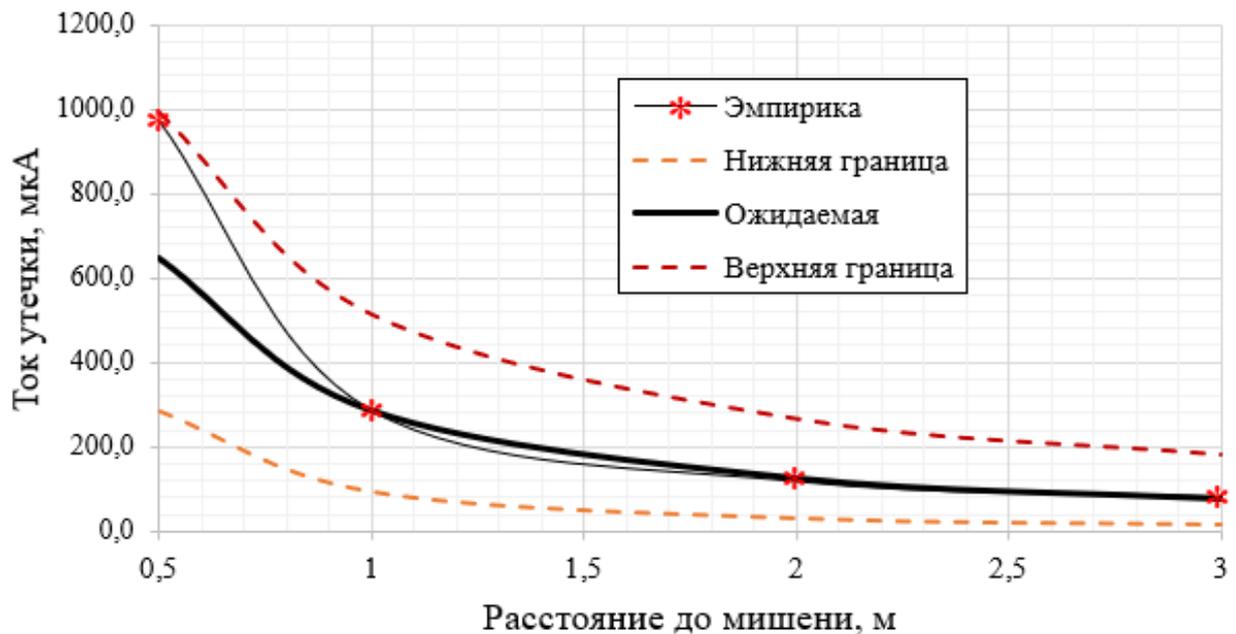
эмпирические данные, а коэффициенты аппроксимации R^2 составляют 0,88 – для воды, и 0,9 – для смеси воды и абразива.

В результате обработки экспериментальных данных были получены степенные регрессионные зависимости, характеризующие ожидаемую регрессию и ее нижнюю и верхнюю доверительные границы (таблица 2.8).

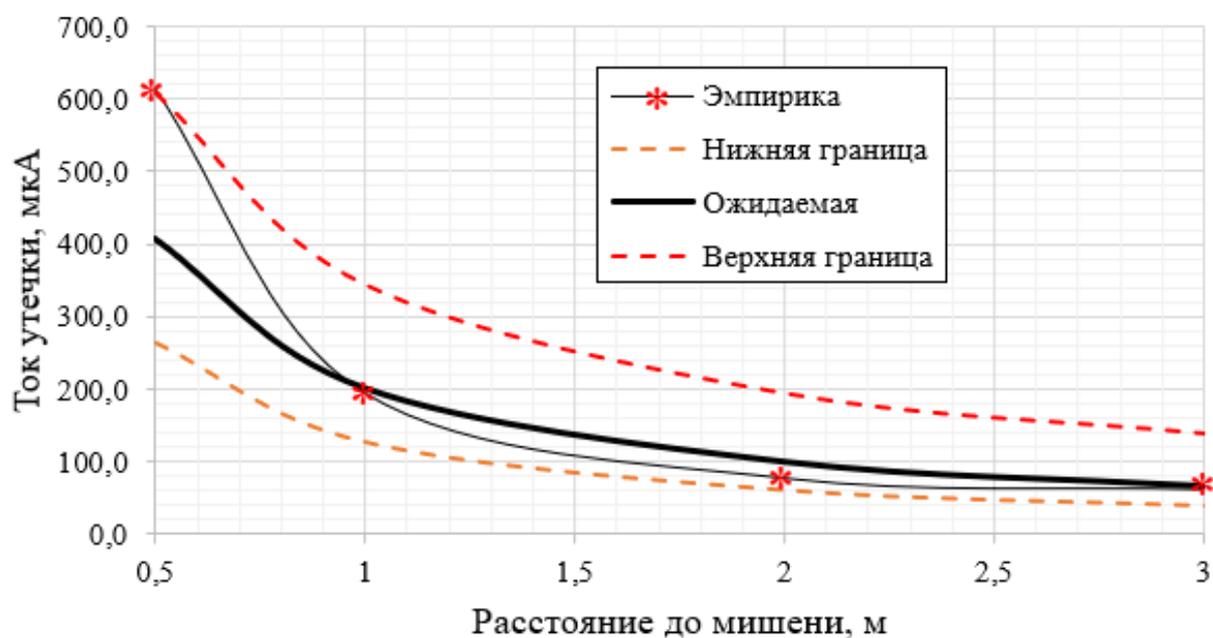
Таблица 2.8 – Степенные регрессионные зависимости

Вид струи	Критерий регрессии	Вид регрессии
Вода	Нижняя доверительная граница	$I = 20,29L^{-1,6}U^{0,45}$
	Ожидаемая регрессия	$I = 20,57L^{-1,17}U^{0,775}$
	Верхняя доверительная граница	$I = 24,05L^{-0,95}U^{0,9}$
Смесь	Нижняя доверительная граница	$I = 5,59L^{-1,05}U^{0,92}$
	Ожидаемая регрессия	$I = 7,8L^{-1,02}U^{0,955}$
	Верхняя доверительная граница	$I = 8,17L^{-0,82}U^{1,1}$

Верификацию полученных регрессионных зависимостей с экспериментальными данными отобразим графически (рисунок 2.13).



а)



б)

Рисунок 2.13 – Соотношение полученных регрессионных зависимостей с экспериментальными данными для воды (а) и смеси воды и абразива (б) при напряжении 30 кВ

Из полученных регрессионных зависимостей за модель принимаем уравнение для верхней доверительной границы, которое гарантирует, что в 95 случаях из 100 полученные экспериментальным путем значения по току утечки не превысят рассчитанные по модели значения.

В результате обработки экспериментальных данных были получены математические зависимости для воды и смеси воды и абразива, позволяющие определить значение тока утечки в зависимости от расстояния и напряжения.

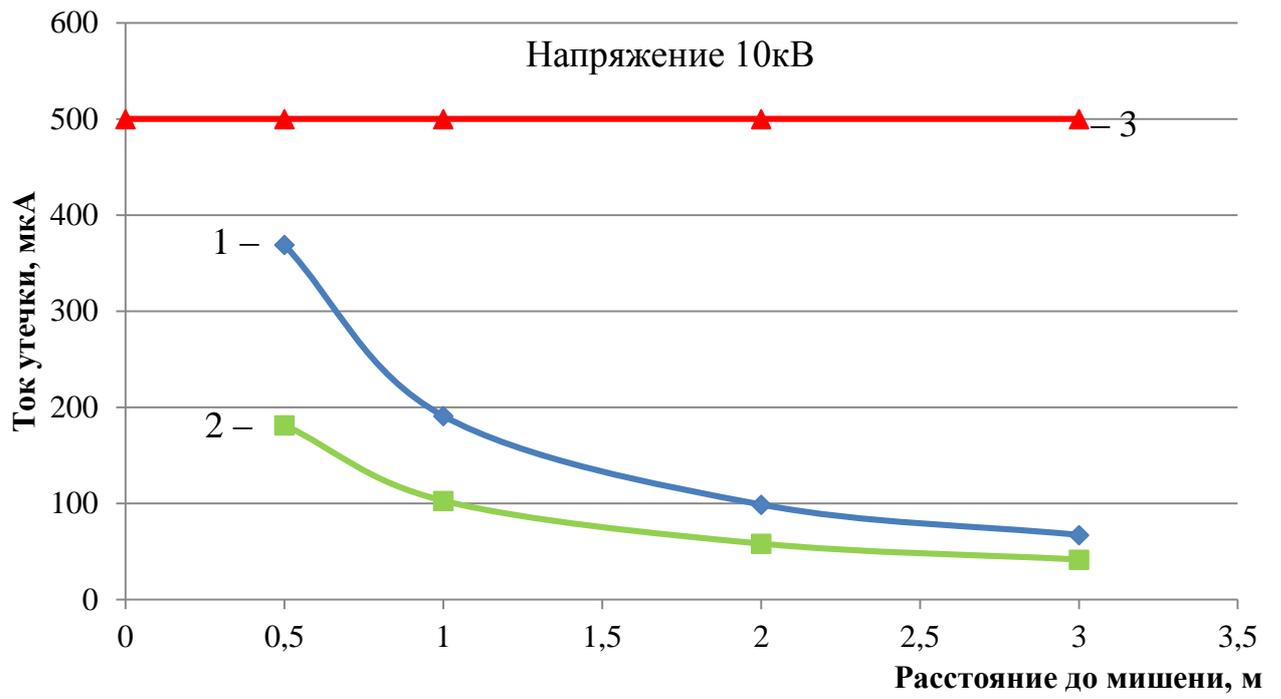
– для воды:

$$I = \frac{24,05 \cdot U^{0,9}}{L^{0,95}}. \quad (2.5)$$

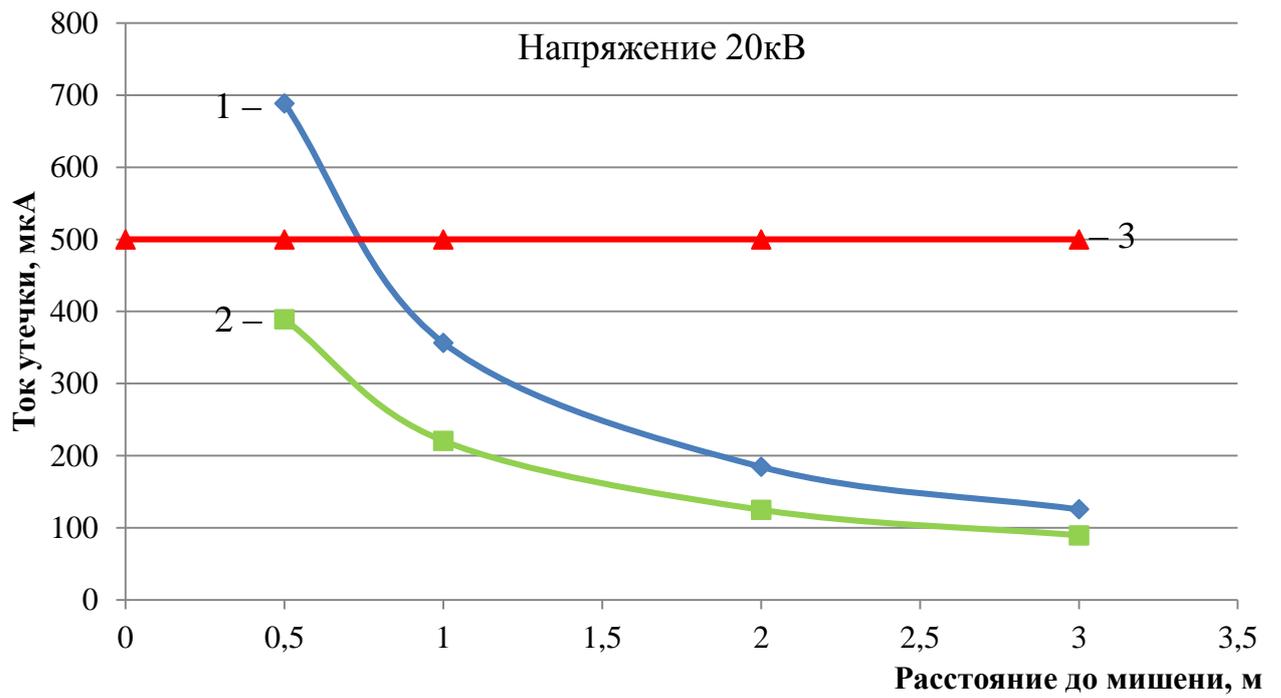
– для смеси воды и абразива:

$$I = \frac{8,17 \cdot U^{1,1}}{L^{0,8}}. \quad (2.6)$$

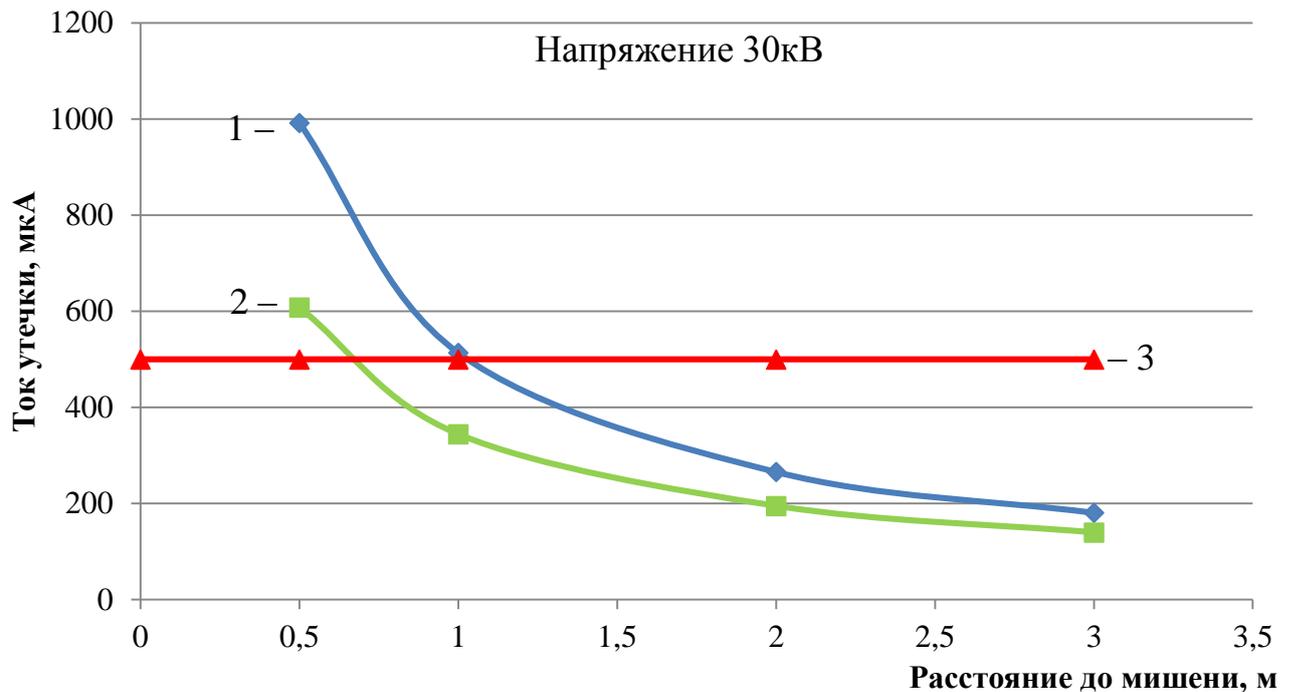
Рассчитанные значения тока утечки по полученным уравнениям представлены на рисунке 2.14.



а)



б)



в)

Рисунок 2.14 – Расчетные значения тока утечки для воды и смеси воды и абразива при напряжении 10 кВ (а), 20 кВ (б), 30 кВ (в):

1 – зависимость тока утечки для воды; 2 – зависимость тока утечки для смеси воды и абразива; 3 – значение тока утечки, ощутимое для человека

Проведенные исследования по определению значений тока утечки по струям воды и смеси воды и абразива, формируемым установкой пожаротушения с гидроабразивной резкой, позволяют сделать следующие выводы:

– определена возможность применения рассматриваемых систем пожаротушения при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ на объектах энергетики, ввиду огнетушащих способностей и возможности тушения пожаров электрооборудования под напряжением [96];

– оценены значения возникающих при подаче огнетушащих веществ токов утечки, которые позволяют предусмотреть аппараты защиты, встроенные в конструкцию робототехнического средства и обеспечивающие его работоспособность при подаче огнетушащих веществ на тушение пожаров электрооборудования под напряжением;

– определены рабочие характеристики установок пожаротушения с гидроабразивной резкой для их безопасного применения личным составом пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров электрооборудования под напряжением [97].

Расстояния, при которых ток утечки не превышает значения в 0,5 мА, ощутимого для человека, составляют для воды 1,028 м, для смеси – 0,630 м. Исходя из тактических соображений, а также учитывая требования правил охраны труда, наиболее оптимальным вариантом подачи огнетушащих веществ является расстояние не менее 3 м. Это условие позволяет учитывать и обратную реакцию струи. Робототехническое средство, оснащаемое стволом установки пожаротушения, может проводить работы по тушению пожаров с расстояния 0,5 м. Резку конструкций следует осуществлять, по возможности, в местах, за которыми не будет объектов, препятствующих распространению струи.

Тушение пожаров электрооборудования под напряжением при помощи робототехнических средств существенно повышает возможности пожарно-спасательных подразделений. Но ввиду малого расхода огнетушащих веществ выбранное средство пожаротушения будет малоэффективно при тушении крупных пожаров. В связи с этим конструкция РТС должна быть оснащена как стволом установки, так и лафетным стволом. Так как РТС не оснащено запасом вывозимых огнетушащих веществ, оно будет работать при помощи рукавных линий, по которым огнетушащие вещества будут транспортироваться до лафетного ствола.

В связи с этим необходимо определить тяговые возможности мобильной робототехники при транспортировке рукавных линий, так как этот фактор оказывает влияние на ее тактические возможности.

2.3 Определение параметров тяговых усилий мобильной робототехники пожаротушения

Применение в конструкции разрабатываемого робототехнического средства пожаротушения дистанционно-управляемого ствола с расходом огнетушащих

веществ от 15 до 20 л/с подразумевает обеспечение его работоспособности за счет подпитки от рукавных линий. Ранее было установлено, что для повышения транспортабельности и маневренности разрабатываемое робототехническое средство не должно вывозить собственного запаса огнетушащих веществ. В связи с этим возникает еще одно условие, связанное с тяговыми характеристиками РТС, которые должны обеспечивать продвижение РТС с рукавной линией на расстояния, при которых сохраняются напорно-расходные характеристики выбранных средств тушения [98].

Параметр тяговых усилий, которым должна обладать мобильная робототехника, очень важен с точки зрения тактических возможностей робототехники. Большинство мобильной робототехники пожаротушения, даже при условии наличия собственного запаса огнетушащих веществ, осуществляет их подачу на тушение, запитываясь через рукавную линию.

В связи с этим для определения значений тяговых усилий, которыми должно обладать разрабатываемое робототехническое средство, необходимо установить, какие силы возникают при взаимодействии пожарных напорных рукавов и поверхностей, по которым происходит их транспортировка, а также разработать модель, позволяющую оценивать значения возникающих усилий, при планировании тактических действий, связанных с применением робототехники.

В настоящее время при тушении пожаров используют пожарные напорные рукава, изготовленные из натуральных и химических волокон различного исполнения [99].

Для транспортировки огнетушащих веществ по рукавным линиям производится их прокладка по горизонтальным и наклонным поверхностям, имеющим различную природу и структуру.

Основу горизонтальных поверхностей на объектах энергетики составляют наливные полы, представляющие собой эпоксидное покрытие для бетона (машинные залы станций, отделения по размещению энергетических установок и др.). В блочных щитах управления, в технологических помещениях, коридорах в основном присутствует плиточное покрытие, а все пространство около корпусов

станции и наружных технологических установок имеет асфальтированную поверхность.

Процесс прокладки рукавных линий сопровождается возникновением сил, препятствующих свободному перемещению рукава по различным поверхностям, основной из которых является сила трения.

Вопросам трения посвящено большое количество исследований, основные результаты которых обобщены в трудах И.В. Крагельского, Н.К. Мышкина, А.В. Чичинадзе и ряда других исследователей [100–102].

В их работах большое внимание уделено вопросам трения металлов, так как в этом было заинтересовано машиностроение. Но в нашем случае практический интерес вызывает не только трение металлов, но и трение полимеров, из которых изготавливается чехол рукава. Вопросами трения полимеров в различное время занимались В.Е. Бухин, Д. Тейбор, Нгуен Ван Тху и др. [103–105].

Нас интересует трение рукавов в сборе, что подразумевает одновременное трение как металлов, так и полимерных материалов. В связи с этим необходимо рассмотреть закономерности трения металлов и полимеров о твердые поверхности.

Так, для трения металлов принято выделять три основных закона, которые представлены в работе [100].

Первый закон гласит о том, что трение не зависит от номинальной площади касания между трущимися телами.

Согласно второму закону сила трения прямо пропорциональна нагрузке, действующей на скользящее тело, следовательно, отношение силы трения к нагрузке остается величиной неизменной и выражается коэффициентом трения μ , характеризующим их фрикционное взаимодействие.

$$\mu = \frac{F_{mp}}{N}. \quad (2.7)$$

Третий закон характеризует трение покоя и трение движения. Трение движения не зависит от скорости и значительно меньше силы трения покоя.

При рассмотрении механизма трения несмазанных тел было установлено, что при их взаимодействии возникают два фактора, характеризующих трение. Первый фактор – это адгезия в местах реального контакта, а второй – деформационная составляющая [104, 106].

В связи с этим полная сила трения будет равна сумме двух ее составляющих:

$$F_{тр} = F_{адг} + F_{деф}. \quad (2.8)$$

Явление адгезии наиболее сильно проявляется при оптически гладких поверхностях, если же поверхности смазаны маслом, то сила трения характеризуется деформационной составляющей.

В случае сухого скольжения шероховатых поверхностей адгезионное трение больше деформационного $F_{адг} > F_{деф}$ почти в два раза.

Механизмы трения для металлов и полимерных материалов существенно различаются. Фрикционное трение полимеров объясняется адгезионным механизмом. Имеются три основных отличия трения полимеров от трения металлов. Первым отличием является то, что площадь соприкосновения трущихся поверхностей зависит от геометрии этих поверхностей и от нагрузки, что влияет на силу трения. Второе отличие выражается в том, что деформационная составляющая может составлять большую часть силы трения, проявляясь в форме упругого гистерезиса. Третьим отличием является то, что ввиду вязкоупругих свойств полимеров трение зависит от скорости и температуры [105].

Следовательно, сила трения полимеров является суммой составляющих ее сил трения, выражающихся адгезией и гистерезисом.

$$F_{тр} = F_{адг} + F_{гис}. \quad (2.9)$$

Зависимость силы трения полимеров от нагрузки, приходящейся на трущееся тело, выражается уравнением (2.10) [95].

$$P = \frac{A_{ном}}{A_{факт}} \cdot P_{ном} \quad (2.10)$$

где $A_{ном}$ – номинальная площадь тела касания, м²;

$A_{факт}$ – фактическая площадь тела касания, представляющая собой сумму площадей пятен контакта на вершинах неровностей реальных поверхностей, m^2 ;

$P_{ном}$ – номинальное давление на каждой неровности поверхности.

Если задаться условиями, что образец полимера имеет форму квадрата со стороной a и касается твердым основанием в точках с площадями S_1, S_2, \dots, S_n , то:

$$A_{ном} = a^2, A_{факт} = \sum_{i=1}^n S_i n_i. \quad (2.11)$$

Из теории адгезии следует, что $\mu_{адг}$ обратно пропорционален P , а величина $P > P_{ном}$ исходя из выражения (2.10). Следовательно, полная сила трения будет снижаться, так как $A_{ном} > A_{факт}$. В связи с этим при увеличении нагрузки коэффициент трения должен уменьшаться.

Согласно теории гистерезисного трения $\mu_{зист}$ в отличие от $\mu_{адг}$ прямо пропорционален P , следовательно, общий коэффициент трения при скольжении пластиков по твердым телам зависит от нагрузки, воздействующей на скользящее тело [104].

Рассматривая механизм трения пожарных напорных рукавов, следует говорить о том, что в трении участвует как металл, так и полимер, в связи с этим полное трение пожарных напорных рукавов выражается суммой трения полимеров и металлов:

$$F_{тр} = F_{тр.пол} + F_{тр.мет} = (F_{адг} + F_{зист}) + (F_{адг} + F_{деф}) \quad (2.12)$$

Для практической составляющей мы будем рассматривать общую силу трения, являющуюся суммой сил трения полимеров и металлов о твердые тела.

Помимо прочих факторов на коэффициент трения оказывает влияние скорость, увеличение которой приводит к снижению коэффициента трения. В связи с этим для установления наиболее оптимальных значений силы трения необходимо было добиться равномерности движения рукава по исследуемой поверхности.

Для достижения заданных условий, а также для визуальной оценки возможностей мобильной робототехники была использована мобильная

роботизированная установка пожаротушения,двигающаяся с постоянной скоростью 3 км/ч.

Замеры возникающей силы трения производились при помощи электронного динамометра растяжения-сжатия *DACELL FGA-T2*, погрешность измерения которого находится в пределах $\pm 0,2\%$. Принципиальная схема проведения экспериментального исследования представлена на рисунке 2.15.

Линейные размеры рукавов измеряли с помощью рулетки со стальной лентой по ГОСТ 7502 [107].

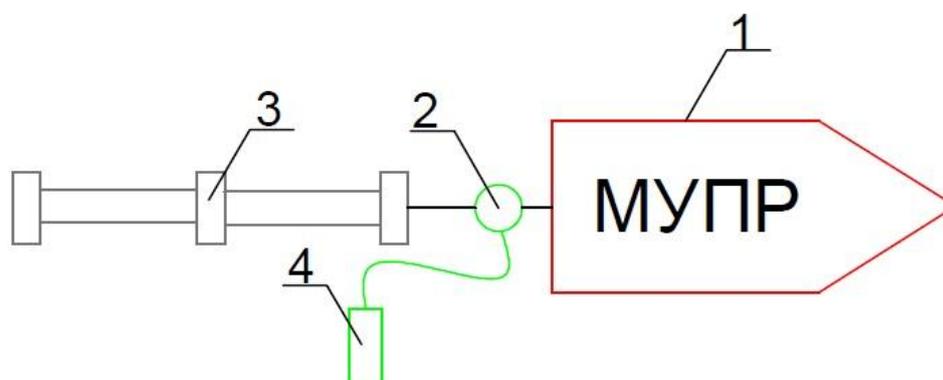


Рисунок 2.15 – Принципиальная схема проведения эксперимента:

1 – мобильная установка пожаротушения роботизированная; 2 – элемент динамометра воспринимающий нагрузку; 3 – исследуемая рукавная линия; 4 – датчик фиксации значений

Исследованию подвергались рукава для пожарных машин (РПМ) общего исполнения с диаметрами условного прохода 50, 65, 80 мм, основные параметры которых представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Основные параметры пожарных напорных рукавов

Диаметр условного прохода рукава, мм	Номер образца	Масса, кг	Длина, м
50	1	6,76	19,4
	2	6,84	19,8
	3	6,76	19,6
	4	6,27	19,4
	5	6,46	19,9
65	1	9,1	18,8
	2	9,1	18,9
80	1	10,96	19,4
	2	10,42	19,6

В ходе проведения эксперимента (рисунок 2.16) были получены значения сил трения (приложение Б), которые необходимо преодолевать, для перемещения рукавных линий, по трем рассматриваемым поверхностям.



Рисунок 2.16 – Замеры возникающей силы трения на плиточном покрытии

Для наибольшей достоверности производилось по пять замеров с каждым образцом. Полученные усредненные результаты представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Усредненные результаты значений силы трения, полученные в ходе проведения эксперимента

Диаметр условного прохода рукава, мм	Количество рукавов в линии, шт.	Сила трения, Н		
		Наливной пол	Плитка	Асфальт
50	1	17,7	23	37,12
	2	34,6	47,6	75,7
	3	51,6	70,2	110,8
	4	67,8	93,6	150,6
	5	86,2	116,6	185,2
65	1	24,8	32,1	51,4
	2	49,4	64,4	101,4
80	1	29,1	39,4	62,6
	2	60,2	78,8	123,2
Замеры, проводимые с мобильной роботизированной установкой, Н				
МУПР		620,4	568,2	993,4

Исходя из полученных значений видно, что наибольшие усилия для перемещения пожарных напорных рукавов приходится прилагать на асфальтированной поверхности, при этом для перемещения рукавов больших диаметров требуются и большие усилия. Связано это, прежде всего, с увеличением массы рукава.

Из полученного массива данных расчетным методом по формуле (2.7) были определены коэффициенты трения рукавов для трех поверхностей. Усредненные результаты представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Значения коэффициентов трения ПНР для трех поверхностей

Диаметр условного прохода рукава, мм	Вид поверхности		
	Наливной пол	Плиточное покрытие	Асфальт
50	0,27	0,36	0,58
65			
80			

При проведении экспериментальных исследований наблюдались скачкообразные перемещения рукавной линии относительно исследуемой поверхности. Эти явления представляют собой возникающие в результате трения автоколебания, влияющие на показания динамометра, из чего возникает погрешность измерений.

Исходя из существующих теоретических взглядов на процесс прокладки рукавных линий, можно предположить, что прокладка рукавных линий различной длины потребует преодоления силы, определяемой по классической формуле:

$$F_m = \mu \cdot m_0 \cdot N \cdot g \quad (2.13)$$

где μ – коэффициент трения; m_0 – масса рукава, кг; g – ускорение свободного падения, м/с², N – количество рукавов, шт.

Сравнение теоретических значений по (2.13) с экспериментальными, полученными на асфальтированной поверхности, отображено на рисунке 2.17.

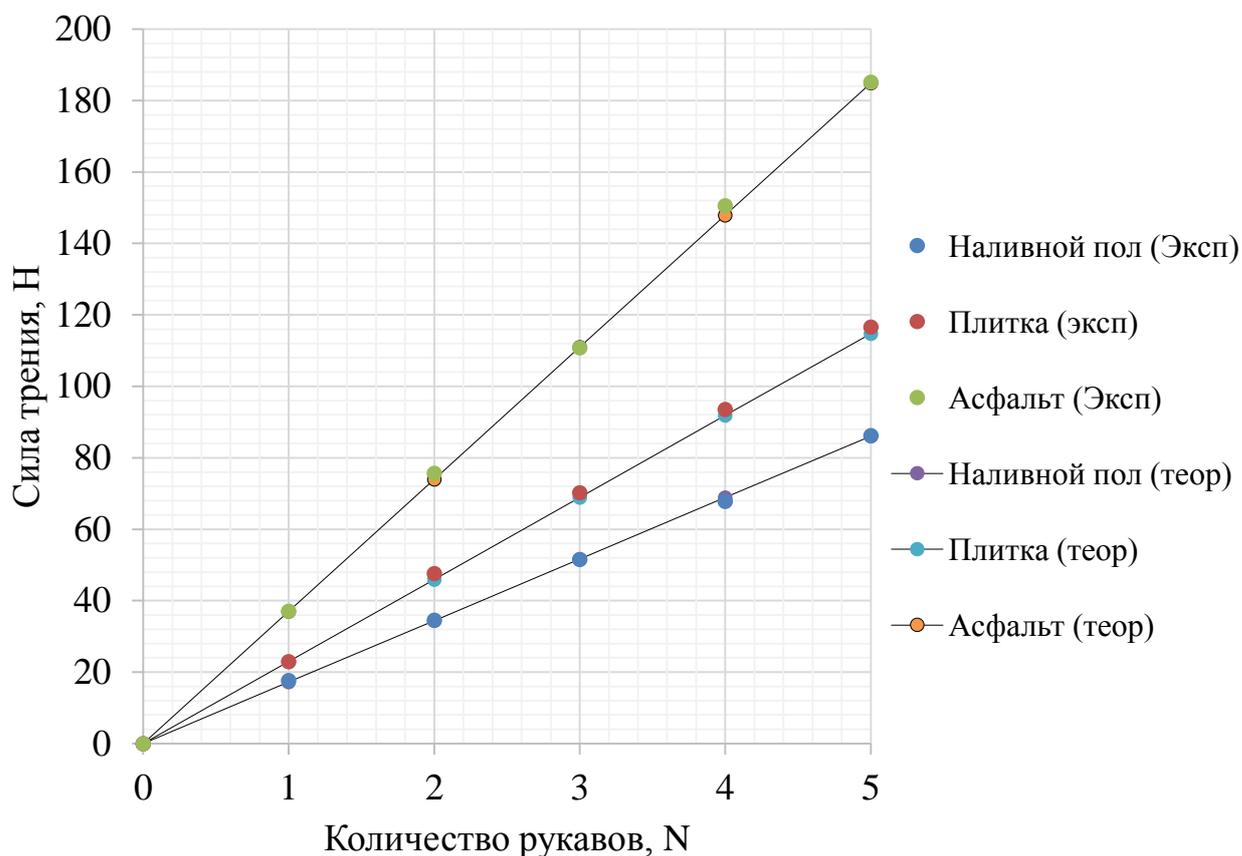


Рисунок 2.17 – Сравнение экспериментальных данных с теоретическими для рукавов с диаметром условного прохода 50 мм

Сравнительный анализ экспериментальных данных и значений, полученных расчетным методом, позволяет утверждать о наличии погрешностей измерений и влияния автоколебаний, которые необходимо учесть при определении возникающей силы трения, влияющей на тактические возможности мобильной робототехники пожаротушения.

Исходя из этого, для оценки погрешностей расчета по предложенной формуле воспользуемся методом косвенных измерений, описанным в [108], в соответствии с которым формула (модель) будет иметь вид:

$$F = F_m \pm \Delta F_n, \quad (2.14)$$

где F_m – расчет по модели на основе средних значений входящих в модель параметров, Н; ΔF_n – абсолютная погрешность модели, Н.

Абсолютная погрешность модели определяется по формуле:

$$\Delta F_n = \left\{ \left(\frac{dF}{dm_0}(m_0, \mu) \Delta m_0 \right)^2 + \left(\frac{dF}{d\mu}(m_0, \mu) \Delta \mu \right)^2 \right\}, \quad (2.15)$$

где $\frac{dF}{dm_0}(m_0, \mu) \Delta m_0$ – частная производная функции F по параметру модели m_0 в точке (m_0, μ) ; $\frac{dF}{d\mu}(m_0, \mu) \Delta \mu$ – частная производная функции F по параметру модели μ в точке (m_0, μ) .

Для дальнейшего преобразования модели (2.14) необходимо задаться условиями, характеризующими точность средств измерения. В связи с этим при определении погрешности измерений принимаем шаг шкалы измерений 0,01.

Исходя из этих условий, задаемся исходными данными для расчета по модели, отраженными в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Исходные данные для модели

Параметры модели	Наливной пол			Плитка			Асфальт		
	Ø50	Ø65	Ø80	Ø50	Ø65	Ø80	Ø50	Ø65	Ø80
μ	0,27			0,36			0,58		
m_0	6,5	9,0	11,0	6,5	9,0	11,0	6,5	9,0	11,0
g	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81

В таблице 2.13 представлены значения F_m и ΔF_n , полученные относительно исходных данных ($\Delta m_0 = 1$ кг, $\Delta \mu = 0,01$).

Таблица 2.13 – Значения F_m , полученные при расчете

Кол-во рукавов, шт.	Наливной пол			Плитка			Асфальт		
	Значения F_m								
	Ø50	Ø65	Ø80	Ø50	Ø65	Ø80	Ø50	Ø65	Ø80
1	15,9	22,1	27	22,3	30,9	37,8	35,1	48,6	59,4
2	31,9	44,1	54	44,6	61,8	75,5	70,1	97,1	118,7
3	47,8	66,2	80,9	67	92,7	113,3	105,2	145,7	178,1
4	63,8	88,3	107,9	89,3	123,6	151,1	140,3	194,2	237,4
5	79,7	110,4	134,9	111,6	154,5	188,8	175,4	242,8	296,8

Значения ΔF_n									
1	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	3,2	3,3	3,4
2	3,4	3,6	3,7	4,2	4,4	4,7	6,3	6,6	6,8
3	5,1	5,4	5,7	6,3	6,6	7	9,5	10	10,2
4	6,6	7,1	7,6	8,5	9	9,3	12,8	13,3	13,6
5	8,3	8,9	9,4	10,5	11,2	11,7	16	16,6	17

Относительная погрешность результатов расчета по модели определялась по формуле 2.16:

$$\Delta\% = \frac{\Delta F_n}{F_m} \cdot 100\%. \quad (2.16)$$

Максимальное значение относительной погрешности наблюдается у рукава меньшего диаметра (меньшей массы) и на поверхности с наименьшим коэффициентом трения (наливной пол) и составляет:

$$\Delta\% = \frac{\Delta F_n}{F_m} \cdot 100\% = \frac{1,7}{17,2} \cdot 100\% = 9,8\% \approx 10\%.$$

Максимальное значение абсолютной погрешности модели относительно исходных данных составляет 10%, следовательно, для практического расчета по предложенной модели необходимо использовать коэффициент запаса 1,1:

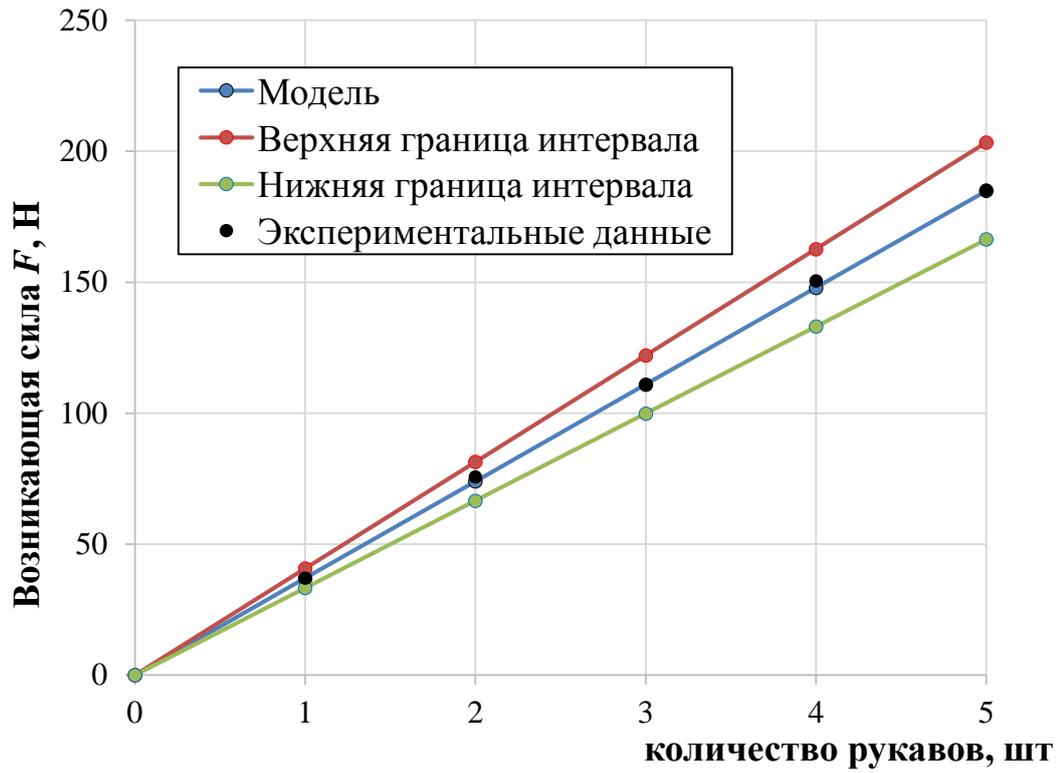
$$F = F_m \pm \Delta F_n = F_m \left(1 \pm \frac{\Delta}{100} \right) = F_m (1 \pm 0,1).$$

Таким образом, верхняя точная и нижняя точная границы расчета по модели будут определяться по формулам:

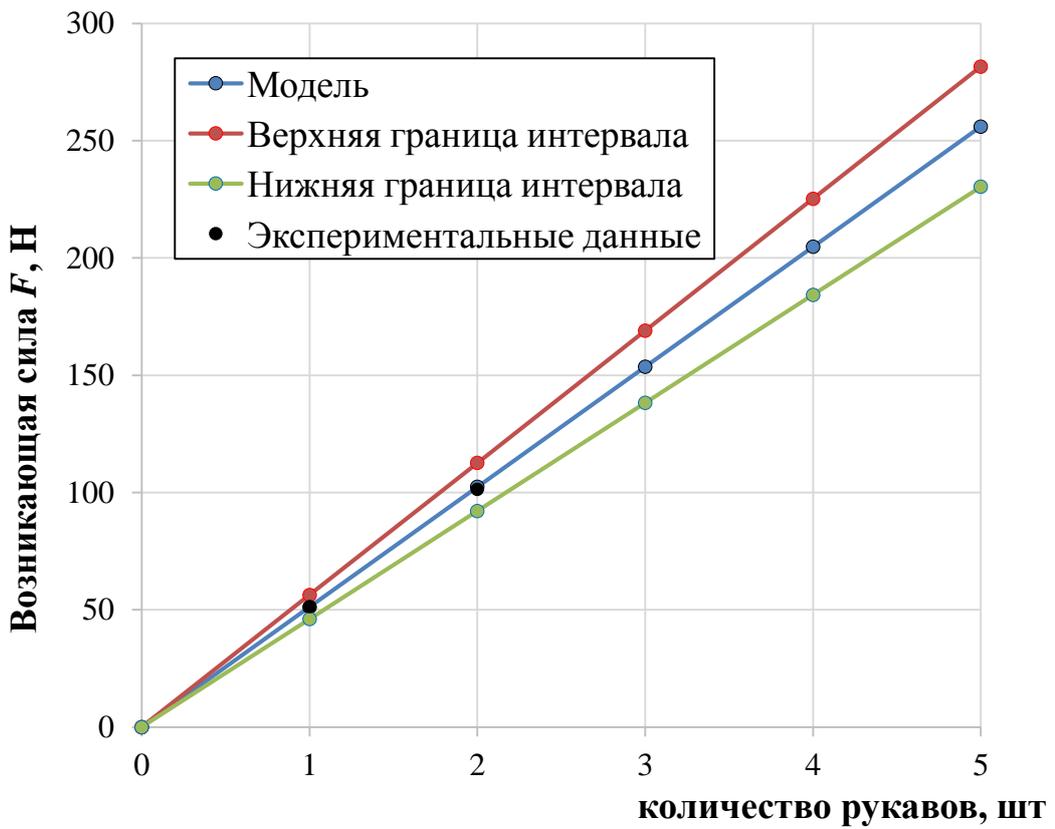
$$F_{\text{sup}} = 1,1 \cdot F_m \text{ (supremum – точная верхняя граница);}$$

$$F_{\text{inf}} = 0,9 \cdot F_m \text{ (infimum – точная нижняя граница).}$$

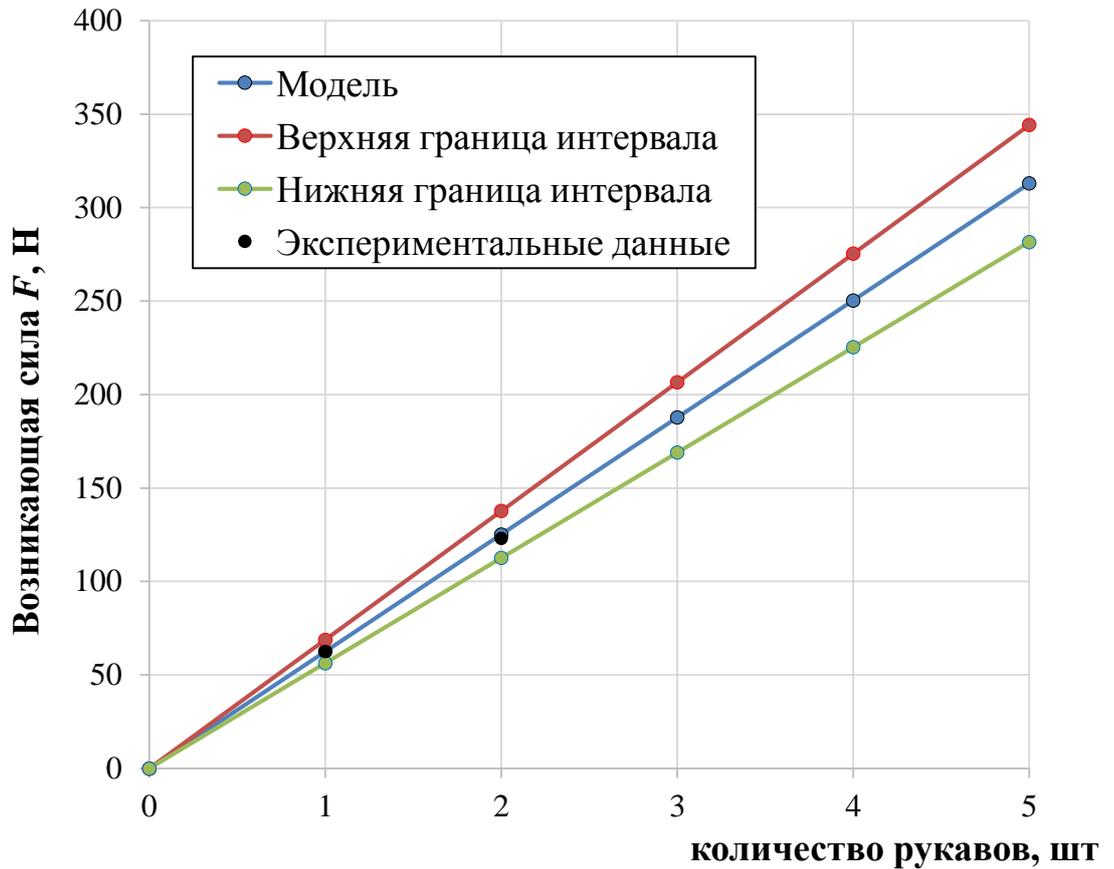
Результаты расчетов приведены на примере асфальтированной поверхности на рисунке 2.18.



а)



б)



в)

Рисунок 2.18 – Сравнение расчетных данных с экспериментальными для рукавов с диаметром условного прохода (а) – 50 мм, (б) – 65 мм, (в) – 80 мм, полученных для асфальтированной поверхности

Сравнение расчетных данных с экспериментальными позволяет говорить о том, что экспериментальные данные находятся в заданном интервале, а их погрешность не превышает 10%.

Исходя из тактических соображений, при расчете сил трения, которые должна преодолевать мобильная робототехника при транспортировке рукавных линий, необходимо учитывать коэффициент запаса равный 1,1, позволяющий наиболее точно оценить тактические возможности мобильной робототехники.

В связи с этим формула для расчета приобретает вид:

$$F_m = 1,1 \cdot \mu \cdot m_0 \cdot N \cdot g$$

Тяговое усилие разрабатываемого робототехнического средства пожаротушения должно обеспечивать его перемещение с рукавной линией на максимальное расстояние, при котором сохраняются напорно-расходные характеристики дистанционно-управляемого лафетного ствола.

В связи с этим для обоснования значения тягового усилия производилась оценка напорно-расходных характеристик дистанционно-управляемого лафетного ствола в зависимости от различных тактических приемов подачи огнетушащих веществ.

При проведении оценки напорно-расходных характеристик задавались параметрами: пропускная способность рукавов 50 мм – 13,9 л/с, 65 мм – 22 л/с, 80 мм – 29 л/с [25]; сопротивления рукавов 50 мм – 0,13, 65 мм – 0,034, 80 мм – 0,015 [44]; расход ствола 15–20 л/с, напор номинальный 50 м.вод.ст.; поверхность – асфальт.

Рассчитанные рабочие характеристики лафетного ствола в зависимости от тактических приемов подачи огнетушащих веществ приведены в приложении В.

Исходя из тактических соображений наиболее рациональным будет являться способ подачи №3 (приложение В), при котором достигается дальность подачи огнетушащих веществ через рукавную линию диаметром условного прохода 80 мм с расходом 15 л/с на расстояние 233 метра. При этом усилия, необходимые для перемещения рукавной линии, составляют 964 Н.

Следовательно, для перемещения рукавных линий различных диаметров конструкция разрабатываемого робототехнического средства должна обладать тяговыми усилиями не менее 1000 Н (~100 кг), что обеспечит эффективное применение РТС при тушении пожаров.

Исследование тяговых усилий проводилось на горизонтальных поверхностях, но в условиях реального пожара при прокладке рукавных линий могут возникнуть дополнительные трудности, связанные с задеванием рукавной линии за строительные конструкции и технологическое оборудование объекта.

Как показывает практика, основным «цепляющимся» местом является рукавная арматура в виде полугаек, что также необходимо учитывать при выборе маршрута движения РТС с рукавной линией.

2.4 Выводы по второй главе

1. На основании определенного функционала робототехнического средства были подобраны огнетушащие составы и средства их подачи. Основными конструктивными элементами, обеспечивающими тушение пожаров при помощи разрабатываемой робототехники пожаротушения, являются дистанционно-управляемый лафетный ствол с расходом огнетушащих веществ от 15 до 20 л/с и ствол установки пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки.

2. Были получены зависимости, позволяющие оценить возникающие токи утечки при тушении пожаров электрооборудования под напряжением при помощи установок пожаротушения с гидроабразивной резкой в зависимости от расстояния до горящего объекта и напряжения на нем. Полученные зависимости позволяют оценить не только ток утечки по воде, но и по смеси воды и абразива.

3. В конструкции разрабатываемого РТС необходимо предусмотреть аппараты защиты от токов утечки силой не менее 1 мА, возникающие при тушении пожаров электрооборудования под напряжением РТС со стволом установки пожаротушения с гидроабразивной резкой.

4. Для эффективного применения РТС с лафетным стволом были оценены тяговые усилия, которые необходимо прилагать для транспортировки рукавной линии на различные расстояния. В результате были получены значения коэффициентов трения для таких поверхностей как плитка, наливной пол и асфальт. Математическая обработка экспериментальных данных позволила определить коэффициент запаса 1,1, который необходимо учитывать при оценке тяговых усилий мобильной робототехники.

ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТАКТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ С ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКОЙ ПРИ ПОДАЧЕ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ

На тактические возможности мобильной робототехники могут оказывать влияние многие факторы. Одними из таких факторов являются гидравлические потери напора по длине рукавной линии, в зависимости от которых и определяется предельная дальность подачи огнетушащих веществ, в особенности, если робототехническое средство не имеет собственного запаса вывозимых огнетушащих веществ.

Специфика применения мобильной робототехники подразумевает под собой самостоятельное выполнение робототехническим средством функций у места проведения работ, при управлении оператором, располагающимся на удалении, либо действуя по заложенному алгоритму. Эти условия исключают присутствие человека в зоне проведения работ, следовательно, при осуществлении работ по пожаротушению пожарный автомобиль совместно с оператором должен располагаться на безопасном расстоянии. Выбор безопасного расстояния также необходимо производить с учетом потерь напора.

В связи с этим для эффективного применения разрабатываемого образца мобильного робототехнического средства пожаротушения, в конструкцию которого интегрирована система пожаротушения с гидроабразивной резкой, необходимо установить предельные расстояния, при которых сохраняются рабочие характеристики средств тушения и резки.

3.1 Анализ гидравлических потерь напора в мобильных системах пожаротушения

Как ранее было замечено, основным показателем, характеризующим предельное расстояние транспортировки и подачи огнетушащих веществ по пожарным напорным рукавам, являются потери напора. Потери напора могут быть линейными и местными. Линейные потери напора h_{λ} возникают за счет

преодоления гидравлических сопротивлений по длине при трении потока жидкости о стенку трубы (чехол рукава) и между собой. Основным критерием, оказывающим влияние на потери напора по длине, является шероховатость внутренней поверхности, по которой происходит движение жидкости, и значение числа Рейнольдса Re , (зависящего от скорости, внутреннего диаметра и вязкости), характеризующего тип движения потока. Местные потери напора h_m возникают только в местах, где наблюдается изменение распределения скоростей в живом сечении потока (расширение или сужение труб, повороты, задвижки и др.). Общая же величина потерь представляет собой сумму линейных и местных потерь и выражается уравнением [109]:

$$h_{общ} = h_l + \sum h_m. \quad (3.1)$$

Основной же формулой для расчета потерь напора по длине при установившемся движении потока для круглых труб является формула Дарси-Вейсбаха, которая имеет вид:

$$h_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (3.2)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения; l – длина трубопровода, м; d – диаметр живого сечения, м; v – средняя скорость потока жидкости, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент λ не является постоянной величиной и зависит от числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости стенок $\varepsilon = \Delta/d$ (где Δ – абсолютная шероховатость, равная средней высоте выступов шероховатости, а d – диаметр трубопровода).

В начале прошлого века И.И. Никурадзе провел тщательные исследования и обобщил вопросы, связанные с потерями напора [109-111]. На основании полученных экспериментальных данных была построена графическая зависимость, по которой возможно было определить коэффициент гидравлического трения λ в зависимости от числа Re для труб с равномерно-зернистой шероховатостью (рисунок 3.1).

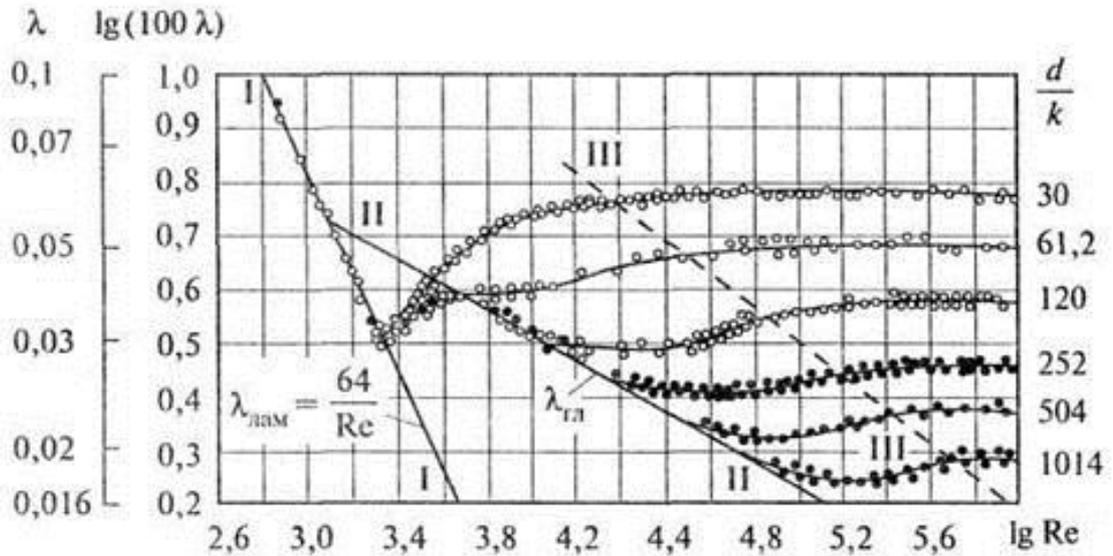


Рисунок 3.1 – Зависимость коэффициента гидравлического трения λ от Re для труб с равномерно-зернистой шероховатостью

Первая область характеризует ламинарный режим ($Re < 2000$), и свидетельствует о том, что шероховатость не оказывает влияние на коэффициент гидравлического трения.

Вторая область является переходной от ламинарного течения к турбулентному (Re от 2000 до 4000), в которой коэффициент гидравлического трения начинает возрастать с увеличением числа Re , оставаясь одинаковым для труб с различной шероховатостью, а позже ввиду усилившегося влияния относительной шероховатости, кривые начинают расходиться.

Третья область характеризует турбулентное течение, в котором определяющим фактором является относительная шероховатость поверхности.

Исследования потерь напора и определение факторов, влияющих на гидравлические характеристики потока, в основном проводились для жестких трубопроводов, которые во многом отличаются от пожарных напорных рукавов.

Вопросы, связанные с гидравлическими потерями в пожарных напорных рукавах, волновали многих специалистов пожарного дела. Существовала проблема оценки эффективности насосно-рукавных систем, которая бы позволила

выявить особенности, влияющие на транспортирующую способность рукавных линий, при которых возникают потери напора.

Так, в США фирмой Specialty Calculators, Inc., занимающейся разработкой промышленных калькуляторов для различных процессов и производств, в 1985 г. был представлен калькулятор, предназначенный для определения потерь напора в рукавной линии, но как позже выяснилось, расчет получался не совсем корректный [112].

Потерям напора в рукавных линиях способствуют возникающие гидравлические сопротивления. Тадеуш Сыцебура в работе [113] подробно рассмотрел значения гидравлических сопротивлений и выявил, что все известные формулы для расчета потерь напора существенно отличаются друг от друга, следовательно, отличаются и полученные результаты.

Так, в работе [114], выполненной Хоанг Зань Бинем на основании экспериментальных исследований [113, 115, 116] установлено, что деформации рукава, возникающие при работе рукавных линий во всем диапазоне рабочих давлений, не оказывают влияния на потери напора. Однако в работах В.И. Яковчука [117, 118] говорится, что увеличение давления в рукавных линиях, приводящее к изменению продольных и поперечных размеров рукавов, приводило к уменьшению потерь напора. Позже было установлено, что формулы, по которым проводились расчеты, различны между собой и рекомендуются лишь для исследуемых рукавов, что может являться причиной расхождения данных и требует дальнейших исследований.

Общим для всех работ является установленный факт, что на потери напора существенно оказывает влияние относительная шероховатость поверхности.

Относительная шероховатость внутренней поверхности рукавов является одним из главных критериев, влияющих на предельную дальность транспортировки огнетушащих веществ [119].

Потери напора во многом зависят и от коэффициента гидравлического трения λ , который в свою очередь зависит от числа Рейнольдса Re и

относительной шероховатости $\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\Delta}{d}\right)$, которые необходимо уточнять для новых видов рукавов.

Ввиду того, что исследования разных специалистов по определению гидравлических характеристик рукавных линий приводили к разным результатам, а появляющиеся в подразделениях новые виды рукавов требовали определения гидравлических параметров, необходимых для их эффективного применения, ряд исследователей пошел по пути проверки полученных теоретических результатов экспериментальными методами, приближенными к условиям эксплуатации.

Таким образом, были исследованы гидравлические потери в рукавных линиях и рукавной арматуре технических средств транспортировки и подачи температурно-активированной воды [120]. Исследования проводились при помощи измерительного комплекса, где в режиме реального времени фиксировались значения температуры, расхода и давления в начале и в конце исследуемого участка.

В результате проведенные исследования позволили установить, что при уменьшении температуры и избыточного давления происходит изменение скорости движения воды, что способствует уменьшению числа Рейнольдса Re , следовательно, возрастает коэффициент гидравлического сопротивления, влияющий на потери напора. Проведенные исследования позволили подчеркнуть, что на гидравлические характеристики средств подачи температурно-активированной воды оказывает большое влияние температура огнетушащего вещества.

Благодаря экспериментальному исследованию и проверке полученных значений теоретическими методами удалось установить значения коэффициента гидравлического сопротивления для рукавных линий, по которым осуществляется транспортировка температурно-активированной воды, а также получить значения местных сопротивлений при прохождении огнетушащего вещества через разветвления и другие виды рукавной арматуры.

Исследованиям, проводимым в работе [120], подвергались рукавные линии с диаметром условного прохода от 13 до 80 мм. Но как показывает ряд работ [121–123] гидравлические характеристики рукавов с диаметрами условного прохода более 100 мм существенно отличаются. Основное отличие состоит в гидравлическом сопротивлении, которое у рукавов бóльших диаметров заметно меньше.

Это условие подтверждается и в работе [25], где были исследованы рукавные линии с диаметром условного прохода более 100 мм. Исследования проводились на специально разработанном для этих целей измерительном комплексе, включение которого в процесс подачи огнетушащих веществ показано на рисунке 3.2.

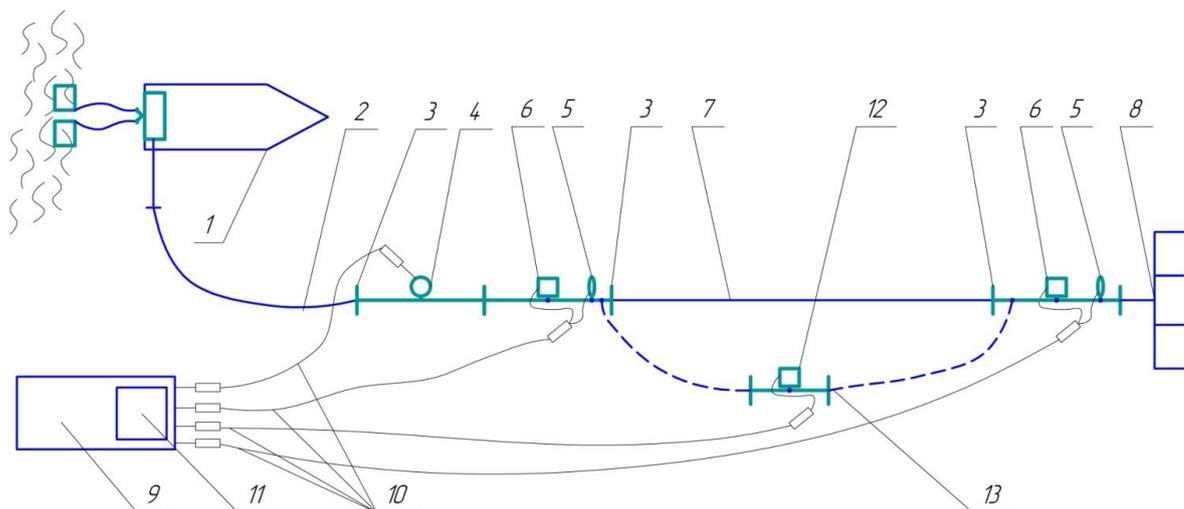


Рисунок 3.2 – Измерительный комплекс для исследования гидравлических характеристик технических средств подачи больших объемов ОТВ:

- 1 – пожарный автомобиль; 2 – рукавная линия; 3 – вставка с приборами; 4 – расходомер; 5 – датчик температуры; 6 – датчик избыточного давления; 7 – испытываемый участок рукавной линии; 8 – разветвление четырехходовое; 9 – многоканальный регистратор; 10 – компенсационный кабель; 11 – ЭВМ; 12 – датчик разности давлений; 13 – бобышки для подсоединения импульсных трубок

Проведенные в [25] исследования позволили определить гидравлические потери напора для рукавных систем с пропускной способностью более 100 л/с, что помогло экспериментально определить коэффициент гидравлического сопротивления. На основании полученных результатов были разработаны

математические зависимости, по которым возможно определить потери напора в зависимости от длины рукавной линии для рукавов с диаметрами условного прохода 150 и 300 мм, что также необходимо для успешного тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций в условиях, когда требуется подача большого количества огнетушащих веществ.

Проведенный анализ работ по определению особенностей, связанных с потерей напора, позволил установить, что при транспортировке огнетушащих веществ в виде воды основным критерием, влияющим на потери, является коэффициент гидравлического трения, связанный с относительной шероховатостью поверхности и зависящий от числа Re .

В работах, рассматриваемых ранее, основным огнетушащим составом являлась вода, следовательно, все полученные значения характеризуют движение воды по рукавным линиям. Но на сегодняшний день в подразделениях пожарной охраны появляются новые виды пожарно-спасательной техники, где в качестве огнетушащего вещества может выступать не только вода, но и ее смеси.

Так, в системах пожаротушения с гидроабразивной резкой в качестве огнетушащего вещества применяется не только вода, но и смесь воды и абразивных частиц, необходимых для резки конструкций. При добавлении абразивных частиц в поток жидкости он видоизменяется и начинает представлять собой двухфазный суспензионный поток, в результате чего возникают дополнительные потери напора, связанные с переносом твердой фазы.

Двухфазный поток представляет собой случай многофазного течения, в котором вещества находятся в разных агрегатных состояниях (фазах) [124].

Наиболее часто двухфазные потоки встречаются в гидротехническом строительстве или гидротранспорте. Основным отличием движения двухфазных потоков от движения воды является наличие процесса взаимодействия фаз, при которых возникают дополнительные потери напора [125].

В отличие от потока жидкости, плотность двухфазного потока существует только при движении жидкости, следовательно, она зависит от скорости потока и количества твердых частиц в вертикальной плоскости. Повышение потерь напора

в двухфазном потоке связано с увеличением вязкости потока по сравнению с вязкостью жидкости и выражается уравнением:

$$\mu_{см} = \mu(1 + \varphi C_0), \quad (3.3)$$

где C_0 – мгновенная объемная консистенция Н/м³;

φ – коэффициент, отражающий влияние наличия твердых частиц в потоке.

Зависимость 3.3 применима для двухфазных потоков с относительно небольшой консистенцией и применима в настоящей работе, так как концентрация твердых частиц составляет не более 4% от количества воды.

Условием движения двухфазного потока является его транспортирующая способность, которая заключается в переносе твердой фазы основной фазой жидкости, и выражается критической скоростью $V_{кр}$. Критическая скорость при движении потока несвязанных твердых частиц определяется по следующей формуле:

$$V_{кр} = 8,3\sqrt[3]{D^6 \sqrt{C_0 \psi_*}}, \quad (3.4)$$

где D – диаметр трубы, м;

C_0 – действительная объемная консистенция двухфазного потока;

ψ_* – коэффициент транспортабельности, характеризующий способность твердых частиц транспортироваться потоком воды, который является функцией гидравлической крупности $\psi_* = f(W)$.

Потери напора в двухфазных потоках, как и в случае с водой, подразделяются на местные и линейные. Наличие твердых частиц в потоке определяет дополнительные затраты энергии, следовательно, и дополнительные потери напора. Потери напора по длине рукавной линии представляют собой сумму потерь условно-однородной жидкости и дополнительных потерь, обусловленных наличием твердых частиц в потоке. Потери напора выражаются уравнением (3.5) и представлены на рисунке 3.3 [125].

$$i_{см} = i_g + \Delta i. \quad (3.5)$$

где i_g – удельные потери напора при движении воды, м;

Δi – дополнительные потери напора, м;

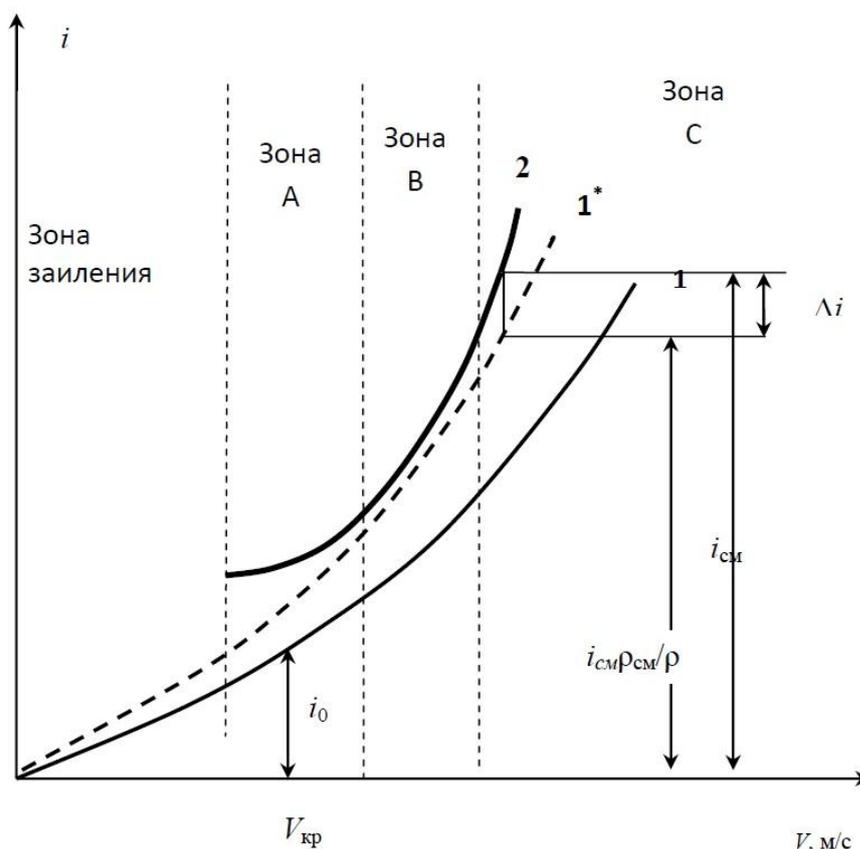


Рисунок 3.3 – Зависимость потерь напора от средней скорости:

1 – вода; 1* – условно-однородная жидкость; 2 – двухфазный поток

Зона «А» на рисунке 3.3 характеризуется тем, что при увеличении скорости потока потери напора увеличиваются незначительно, а значение критической скорости соответствует минимальным потерям напора.

В зоне «В» кривые 1 и 1* приближаются к кривой, характеризующей чистую воду. На этом участке распределение твердых частиц в потоке выравнивается, и вся масса жидкости начинает принимать участие в переносе твердых частиц. В результате снижения амплитуды турбулентных пульсаций и при рассматриваемых скоростях происходит уменьшение относительных потерь напора.

Зона «С» характеризуется тем, что кривые 1 и 1* начинают отходить от кривой потерь для чистой воды, ввиду того, что в этой области преобладают большие скорости и поток начинает вести себя как «новая» однородная жидкость.

Удельные потери напора при движении потока в круглом трубопроводе могут быть рассчитаны по формуле Дарси–Вейсбаха, записанной в виде:

$$i_{см} = i_0 \frac{\rho_{см}}{\rho} + \Delta i. \quad (3.6)$$

Для расчета дополнительных потерь Δi напорного потока используют следующее уравнение:

$$\Delta i = \delta \sqrt[4]{j^3} \sqrt{C_0^2} \frac{V_{кр}}{V}, \quad (3.7)$$

где δ – коэффициент, учитывающий влияние относительной крупности частиц по отношению к диаметру трубы d/D ; j – коэффициент разнотерности твердых частиц; C_0 – действительная объемная консистенция Н/м³; $V_{кр}$ – критическая скорость движения смеси, при которой частицы начинают двигаться вдоль потока м/с; V – скорость потока м/с.

Величина i_0 (3.6) обуславливает точность оценки значений $i_{см}$ и зависит от режима движения воды и поверхности труб, которые характеризуются коэффициентом гидравлического трения λ (рисунок 3.4) [125].

Изменение шероховатости оказывает значительное влияние на величину потерь напора по воде i_0 .

Чаще всего при движении двухфазного потока по стальному трубопроводу рассматриваются системы гидравлически гладких труб, так как было установлено, что происходит шлифовка внутренней поверхности трубы. Так, для шлифовки труб при транспортировке песчаного грунта требуется около 100 ч [126]. Это условие справедливо и для резиновых рукавов, где в результате воздействия твердых частиц происходит изменение шероховатости поверхности.

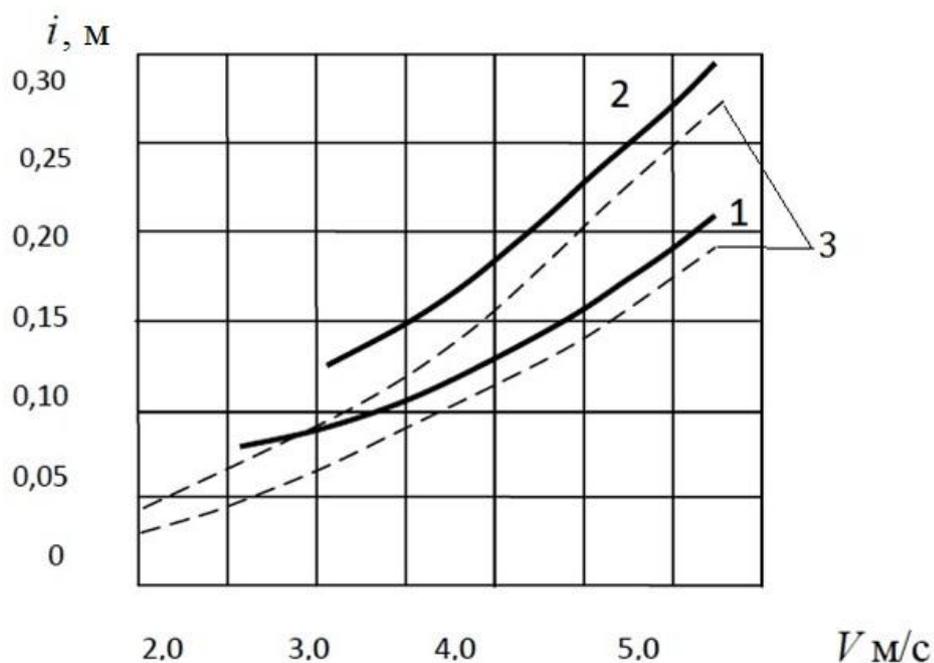


Рисунок 3.4 – Зависимость удельных потерь от средней скорости движения:

- 1 – двухфазный поток в гладком трубопроводе; 2 – двухфазный поток в шероховатом трубопроводе; 3 – зависимость для воды

Местные потери напора, как и в случае с водой, возникают при деформации потока (задвижки, переходники, повороты и пр.). При деформации потока происходит изменение структуры двухфазного потока, что приводит к затратам энергии на восстановление распределения скоростей и сопротивление движению потока. Местные потери напора выражаются формулой:

$$h_m = \xi_m \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{\rho_{см}}{\rho}, \quad (3.8)$$

где ξ_m – коэффициент местных гидравлических сопротивлений, определяемый по справочникам; $\rho_{см}$ – плотность смеси, кг/м³; ρ – плотность воды, кг/м³.

Еще одним условием стабильной работы рассматриваемых систем является исключение седиментации твердых частиц при подаче смеси. Явление седиментации представляет собой процесс, при котором происходит оседание твердых частиц под действием гравитационного поля. Для исключения этого явления течение потока смеси должно быть турбулентным, что характеризуется числом Рейнольдса Re , зависящим от скорости потока.

Рассмотрев особенности гидравлических характеристик средств транспортировки и подачи огнетушащих веществ, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным с практической точки зрения является, определение потерь напора эмпирическим путем. Связано это в первую очередь с неоднородностью коэффициента гидравлического трения.

Рассматривая двухфазный поток, к потерям напора по воде добавляются дополнительные потери напора, возникающие при транспортировке твердых частиц. На потери напора при транспортировке твердых частиц влияет большое количество факторов, начиная от количества частиц в смеси, до относительной крупности частиц. Представленный поток смеси, транспортируемый установкой пожаротушения, и значения ее рабочих параметров, позволяют заключить, что с точки зрения инженерной гидравлики задача оценки гидравлических характеристик установок пожаротушения является достаточно специфичной, так как оценка гидравлических характеристик при заданных параметрах работы и технических характеристиках до настоящего времени экспериментально не производилась.

В связи с этим для установления значений гидравлических потерь напора при работе установки пожаротушения с гидроабразивной резкой наилучшим вариантом с практической точки зрения будет проведение экспериментального исследования по определению гидравлических потерь напора при подаче огнетушащих веществ в виде воды и смеси воды и абразивных частиц. Помимо этого, на основе экспериментальных данных удастся определить условия работоспособности, при которых возможно исключить возникновение явления седиментации.

3.2 Измерительный комплекс для исследования гидравлических характеристик установок пожаротушения с гидроабразивной резкой

Рабочие параметры установок пожаротушения с гидроабразивной резкой во многом отличаются от параметров насосно-рукавных систем традиционных средств тушения. Основным отличием является то, что помимо воды в насосно-

рукавных системах транспортируется смесь воды и абразивных частиц, необходимая для резки конструкций. Помимо этого, рабочее давление в системах пожаротушения с гидроабразивной резкой составляет около 30 МПа, что существенно превышает рабочее давление насосно-рукавных систем пожарных автомобилей, работающих при давлении, не превышающем 0,4 МПа (ступень высокого давления).

В связи с этим, для определения гидравлических характеристик установок пожаротушения с гидроабразивной резкой был разработан измерительный комплекс, позволяющий в режиме реального времени фиксировать значения избыточного давления в начале и в конце исследуемого участка, работая при этом с абразивными средами.

Измерительный комплекс состоит из двух рукавных вставок, с диаметрами условного прохода 12 мм, которые включаются в процесс при помощи резьбовых и быстросъемных соединений (рисунок 3.5). Основные конструктивные элементы вставок представлены в приложении Г.



Рисунок 3.5 – Рукавные вставки с разделителями сред, клапанными блоками и датчиками давления

Рукавные вставки оборудованы переходниками, выполненными из рукавов высокого давления DKOS, имеющих стальной каркас и рассчитанных на давление в 410 бар, связанных обжимными кольцами с резьбовыми фитингами, рассчитанными на высокое давление. Переходники предназначены для соединения Т-образных переходных соединений, включенных в процесс, с клапанными блоками.

Для фиксации значений избыточного давления и передачи информации на регистратор рукавные вставки оснащены преобразователями давления.

Преобразователи давления измерительные АИР-20 -/М2-Н/ ДИ/ 190/ -/ -/ 12N/ АЗИ2/ t1070/ С05/ 0...40 МПа/ -/ 42/ С/ -/ -/ -/ -/ -/ ВА/ ГП предназначены для непрерывного преобразования избыточного давления в унифицированный выходной токовый сигнал и в цифровой сигнал на базе HART-протокола. $P_{\text{макс}} = 6,0$ МПа, класс точности А, пределы допускаемой основной погрешности 0,5%, диапазон измерений от 0 до 4,0 МПа, температура эксплуатации от -10 до $+70^{\circ}\text{C}$ (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Преобразователь давления измерительный АИР-20-М2-Н

Для проведения работ с абразивными средами преобразователи давления оснащены мембранными разделителями сред типа ВА 1Т/ 1/ 1/ А/ 5321 с

керамической подложкой, предназначенными для защиты чувствительного элемента преобразователя давления. Диапазон рабочих давлений разделителей сред от 0,1 до 60 МПа, при диапазоне рабочих температур от -50 до $+500^{\circ}\text{C}$ (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Мембранный разделитель сред с керамической подложкой типа ВА

В целях безопасности, а также для стравливания воздуха, находящегося в системе, в рукавных вставках предусмотрены клапанные блоки БК-Е 1/ 2/ 5/ М/ 0/ М/ 02/ -/ М20М/. Клапанные блоки рассчитаны на рабочее давление среды до 40 МПа при рабочей температуре среды от -60 до 170°C и температуре окружающего воздуха от -50 до 70°C (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Клапанный блок БК серии Е

Подключение преобразователей давления осуществляется при помощи разъемов, смонтированных на рукавных вставках.

Сигнал с преобразователей давления при помощи кабельных линий типа КММ передается на измерительный прибор РТМ 59 (регистратор технологический многоканальный) для регистрации и визуализации значений избыточного давления. Регистратор многоканальный РТМ 59/-/В/t1050/III/A2/D2 (рисунок 3.9) представляет собой микропроцессорный, аналого-цифровой регистрирующий и показывающий измерительный прибор, рассчитанный на температуру эксплуатации от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$. Основная приведенная погрешность прибора $\pm 0,15\%$ [127].



Рисунок 3.9 – Регистратор многоканальный технологический РТМ 59

Для удобства эксплуатации и для размещения разъёмов подсоединения кабельных линий для РТМ 59 предусмотрен электрощит.

Представленный измерительный комплекс способен производить измерения параметров избыточного давления в диапазоне от 0 до 40 МПа при движении воды и смеси воды и абразивных частиц при температуре окружающего воздуха от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$.

Для измерения линейных размеров рукавов высокого давления предусмотрена рулетка со стальной лентой, измерения которой производились по ГОСТ 7502 [116], и штангенциркуль – по ГОСТ 166 [128].

Измерение рукавов высокого давления производилось на ровной горизонтальной поверхности, с погрешностью измерений, не превышающей 0,1 м.

Для проведения экспериментальных исследований автором работы была разработана «Программа и методика предварительных испытаний насосно-рукавных систем установок пожаротушения с гидроабразивной резкой» (Приложение Е).

Программа и методика испытаний подразумевала проведение исследований гидравлических характеристик рукавов высокого давления систем пожаротушения с гидроабразивной резкой при прямолинейной прокладке и при изгибах линии, образующих местные сопротивления.

Перечень оборудования, задействованного в ходе проведения экспериментального исследования, отражен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень оборудования, задействованного в ходе проведения экспериментального исследования

Наименование оборудования	Назначение	Количество	Примечание
1	2	3	4
Автоцистерна пожарная АЦ-3,2-40/4 с установкой пожаротушения «Кобра»	Подача огнетушащих веществ в виде воды и смеси воды и абразива	1 ед.	
Рукавная катушка с рукавом высокого давления TRELLERBORG-TRELLJET 580-HD 13 -1/2// - НР 500 BAR /7350 PSI- MAX 150 °С	Проведение исследований при движении по ним воды и гидросмеси	1 шт.	Стандартная длина рукава 80 м
Датчики избыточного давления АИР-20 -/М2-Н/ ДИ/ 190/ -/ -/ 12Н/ АЗИ2/ t1070/ С05/ 0...40 МПа/ -/ 42/ С/ -/ -/ -/ -/ -/ ВА/ ГП	Измерение избыточного давления	2 шт.	
Регистратор технологический многоканальный РТМ 59/- /В/t1050/III/A2/D2	Регистрация и визуализация измеряемых значений	1 шт.	

Рукавная вставка с диаметром условного 12 мм оборудованная бесклапанными быстроразъёмными соединениями	Установка датчиков избыточного давления, разделителей сред и клапанных блоков с переходниками	2 шт.	Разработка автора
Абразивный материал	Формирование гидросмеси	10 кг.	
Рулетка со стальной лентой	Измерение линейных размеров	1 шт.	
Штангенциркуль	То же	1 шт.	
Фотоаппарат	Фото и видеофиксация экспериментального исследования	1 шт.	
Специальная защитная одежда пожарного	Безопасность участников экспериментального исследования	6 шт.	

3.3 Исследование гидравлических характеристик рукавной линии установки пожаротушения с гидроабразивной резкой при горизонтальной прокладке

Эксперимент для определения гидравлических характеристик проводился в Академии ГПС МЧС России. Для проведения экспериментального исследования была собрана схема, представленная на рисунке 3.10.

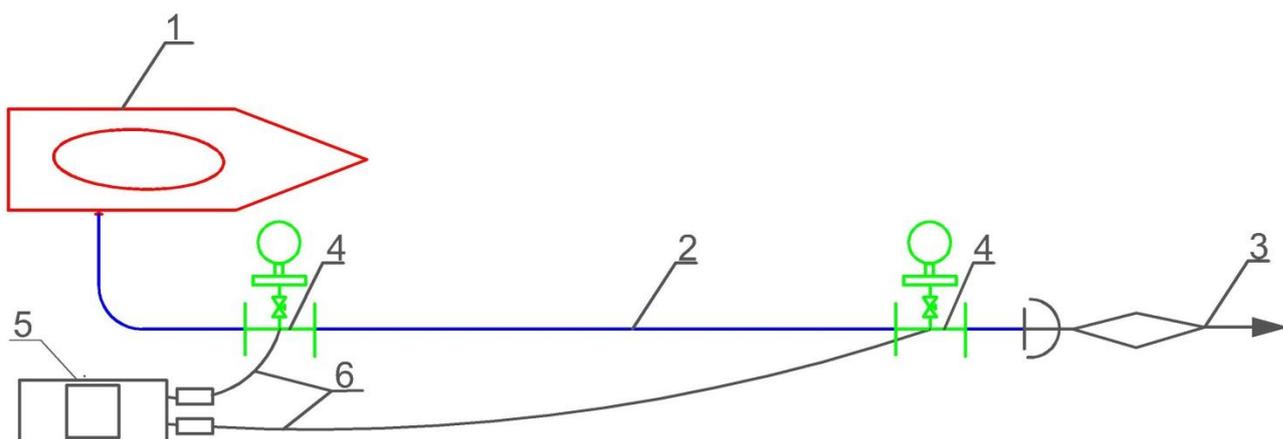


Рисунок 3.10 – Схема проведения экспериментального исследования:

- 1 – пожарная автоцистерна с установкой пожаротушения; 2 – рукавная линия длиной 80 м;
3 – ствол установки; 4 – рукавные вставки с преобразователями давления; 5 – регистратор технологический многоканальный РТМ 59; 6 – соединительные кабельные линии

В целях экспериментального исследования были произведены прямые измерения величин: длина рукавной линии l , внешний диаметр рукава d , избыточное давление P_1 и P_2 .

Фиксация значений избыточного давления перед входом в рукавную линию P_1 производилась непосредственно у выхода из насоса установки пожаротушения, установленной на пожарном автомобиле (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Рукавная вставка для измерения избыточного давления перед входом в рукавную линию

Вторая рукавная вставка устанавливалась в конце исследуемого участка, соединяясь рукавом высокого давления со стволом установки, опущенным в специальный резервуар для слива отработанного огнетушащего вещества.

Первоначальная серия экспериментов проводилась с рукавной линией, проложенной прямолинейно, для получения массива данных по гидравлическим потерям напора на участке рукавной линии 80 м по воде и смеси воды и абразива.

После этого линию изогнули под углом 90° для образования местного сопротивления и провели серию экспериментов. Результаты эксперимента

показали, что при высоком давлении линия расправляется и в результате опять же высокого давления и большой скорости потока местное сопротивление в виде изгиба линии под углом 90° не оказывает влияние на потери напора. Проведенные исследования с углами изгиба линии 180° и 270° привели к такому же результату.

В связи с этим было принято решение осуществить подачу огнетушащих веществ в условиях, приближенных к рабочим условиям на пожаре, где при прокладке рукавной линии образуется множество изгибов линии (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – Оценка влияния кривизны рукавной линии на гидравлические потери напора

Результаты, полученные в ходе проведения экспериментального исследования по оценке гидравлических характеристик установки пожаротушения с гидроабразивной резкой при горизонтальной прокладке рукавной линии, представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Полученные экспериментальные данные

Вид ОТВ	Вид прокладки	Давление на входе, МПа	Давление на выходе, МПа	ΔP , МПа
Вода	Горизонтальная, прямолинейная	32,687	30,113	2,574
		32,684	30,167	2,517
		32,676	30,157	2,519
		32,63	30,126	2,504
		32,612	30,114	2,498
		32,551	30,072	2,479
		32,582	30,051	2,531
		32,502	29,948	2,554
		32,366	29,853	2,513
		32,377	29,856	2,521
		32,38	29,858	2,522
		32,442	29,911	2,531
		32,508	29,987	2,521
		32,578	30,054	2,524
		32,646	30,117	2,529
		32,652	30,121	2,531
		32,649	30,119	2,53
		32,668	30,154	2,514
		32,618	30,116	2,502
		32,621	30,104	2,517
		32,469	29,962	2,507
		32,453	29,954	2,499
		32,5	29,891	2,609
		32,422	29,899	2,523
		32,413	29,907	2,506
		32,511	29,987	2,524
32,579	30,048	2,531		
32,657	30,112	2,545		
32,613	30,096	2,517		
Абразив	Горизонтальная, прямолинейная	32,067	29,519	2,548
		32,441	29,843	2,598
		32,878	30,374	2,504
		33,193	30,605	2,588
		33,436	30,815	2,621
		33,392	30,756	2,636
		33,351	30,72	2,631
		33,306	30,699	2,607
		33,336	30,733	2,603
		33,426	30,83	2,596
		33,433	30,842	2,591
		33,469	30,886	2,583
		33,467	30,9	2,567
		32,696	30,167	2,529
		32,831	30,244	2,587
33,119	30,518	2,601		

Вид ОТВ	Вид прокладки	Давление на входе, МПа	Давление на выходе, МПа	ΔP , МПа
		33,297	30,724	2,573
		33,207	30,729	2,478
		33,303	30,719	2,584
		33,27	30,688	2,582
		33,248	30,67	2,578
Вода	Горизонтальная, криволинейная	32,395	29,878	2,517
		32,504	29,973	2,531
		32,485	29,975	2,51
		32,578	30,057	2,521
		32,556	30,037	2,519
		32,481	29,949	2,532
		32,438	29,924	2,514
		32,453	29,933	2,52
		32,484	29,95	2,534
		32,479	29,942	2,537
		32,502	29,973	2,529
		32,495	29,964	2,531
		32,462	29,938	2,524
		32,504	29,973	2,531
		32,532	29,99	2,542
		32,511	29,974	2,537
		32,507	29,963	2,544
		32,511	29,97	2,541
		32,521	29,978	2,543
		32,493	29,954	2,539
		32,404	29,872	2,532
		32,344	29,812	2,532
		32,426	29,903	2,523
		32,388	29,869	2,519
		32,425	29,916	2,509
32,47	29,954	2,516		
32,509	29,978	2,531		
Абразив	Горизонтальная, криволинейная	33,204	30,617	2,587
		33,307	30,714	2,593
		33,355	30,756	2,599
		33,445	30,842	2,603
		33,516	30,92	2,596
		33,311	30,724	2,587
		33,281	30,687	2,594
		33,286	30,672	2,614
		33,225	30,605	2,62
		33,327	30,713	2,614
		33,409	30,802	2,607
		33,409	30,798	2,611
		33,217	30,619	2,598
		33,225	30,624	2,601
		33,335	30,714	2,621

Продолжение таблицы 3.2

Вид ОТВ	Вид прокладки	Давление на входе, МПа	Давление на выходе, МПа	ΔP , МПа
		33,425	30,831	2,594
		33,423	30,812	2,611
		33,321	30,724	2,597
		33,357	30,736	2,621
		33,413	30,784	2,629
		33,279	30,698	2,581

Как было ранее установлено, потери напора в двухфазных системах состоят из потерь напора по воде и дополнительных потерь, затрачиваемых на транспортировку абразивного материала. В связи с этим основной задачей является определение потерь напора по воде и установление характеризующих ее факторов.

Потери напора по воде при установившемся потоке определяются по формуле Дарси–Вейсбаха (3.2).

$$h_n = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

Анализируя формулу Дарси–Вейсбаха можно заключить, что потери напора во многом зависят от скорости потока и коэффициента гидравлического трения λ .

Ранее считалось, что λ является величиной постоянной, но позже было установлено, что она зависит от шероховатости поверхности и числа Рейнольдса, которые в свою очередь зависят от скорости потока и его физических свойств.

Выбор существующей формулы для расчета коэффициента гидравлического трения зависит от числа Рейнольдса, которое рассчитывается по формуле:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (3.9)$$

где v – скорость потока, м/с; d – внутренний диаметр трубопровода, м; ν – коэффициент кинематической вязкости воды, м²/с.

Расчет гидравлических потерь напора по формуле Дарси–Вейсбаха в инженерной гидравлике производится в основном для трубопроводов, у которых в результате возникающего давления значения длины участка l и его внутреннего диаметра d являются величинами постоянными. В системах же пожаротушения с гидроабразивной резкой используется гибкий рукав, обладающий возможностью работы с абразивными средами, который может изменяться в размерах при высоком давлении. При подаче огнетушащих веществ наружный диаметр рукава увеличивается с 21,1 мм до 21,3 мм.

В связи с этим, изменение абсолютной шероховатости внутренней поверхности рукава Ra и изменение внутреннего диаметра рукава d при рабочем давлении в 30 МПа практическим путем определить невозможно, отсутствует экспериментальная база.

Необходимо также учесть, что на изменение шероховатости внутренней поверхности рукава влияет и воздействие абразивного материала, который взаимодействует со стенками рукава и изменяет ее.

Таким образом с практической точки зрения выгоднее применять экспериментальные методы исследования потерь напора при подаче огнетушащих веществ. В нашем случае определим значения гидравлических характеристик, полученных экспериментальным путем и сравним их с расчетными данными. Это позволит определить коэффициент гидравлического трения, а также установить предельную дальность подачи огнетушащих веществ.

Определение коэффициента линейного гидравлического трения λ^3 , исходя из экспериментального исследования гидравлических потерь напора Δh по длине, рассчитывается по формуле, полученной из уравнения Бернулли:

$$\lambda^3 = \Delta h_3 \cdot \frac{d}{l} \cdot \frac{2g}{v^2}, \quad (3.10)$$

$$\Delta h_3 = \frac{\Delta P}{\rho g}, \quad (3.11)$$

где ΔP – значения разности давлений перед исследуемым участком и на выходе из него, Па; ρ – плотность воды, кг/м³.

Все значения плотности и кинематической вязкости рассчитывались при помощи набора программ для вычисления теплофизических свойств воды и водяного пара «*WaterSteamPro*» [129] в зависимости от температуры воды и избыточного давления.

В результате обработки экспериментальных данных было установлено, что среднее значение гидравлических потерь напора при транспортировке воды по рукавной линии длиной 80 м составляет 2,52386 МПа, или 254,22 м, с учетом плотности воды, полученной при температуре 19°C и избыточном давлении 30 МПа для рукавной линии, проложенной прямолинейно, и 2,52807 МПа – 254,65 м для рукавной линии, проложенной с учетом кривизны.

Для установления влияния кривизны рукавной линии на потери давления производили оценку полученных результатов методом дисперсионного однофакторного анализа, методика и результаты которого представлены в приложении Д.

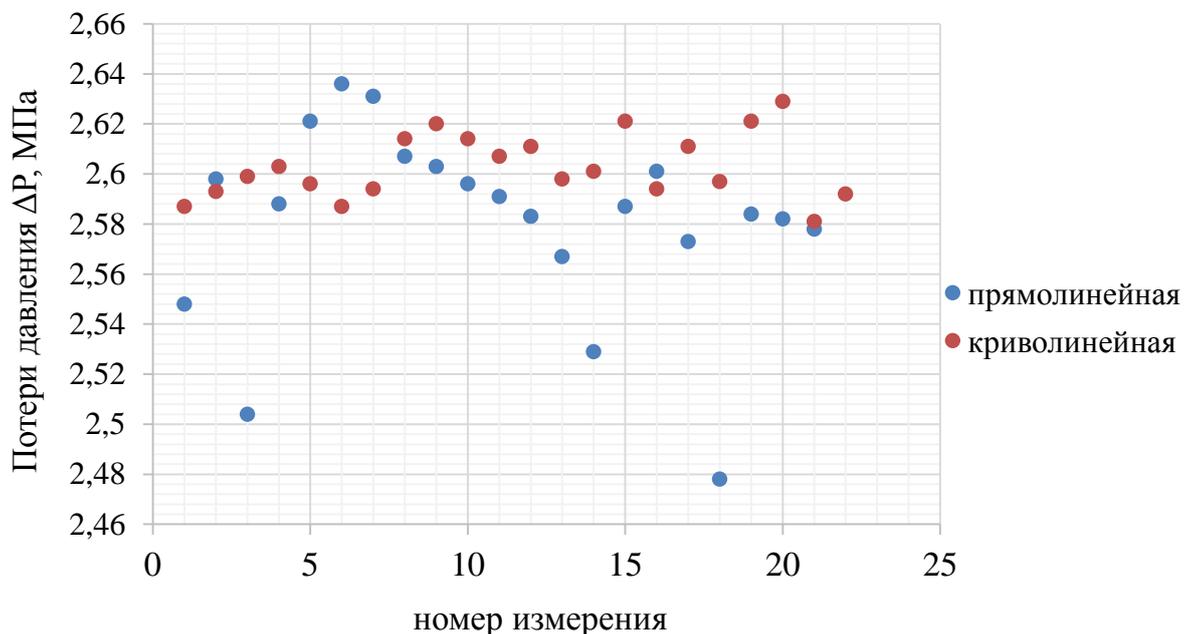


Рисунок 3.13 – Результаты измерений потерь давления при подаче смеси при прямолинейной и криволинейной прокладке рукавной линии

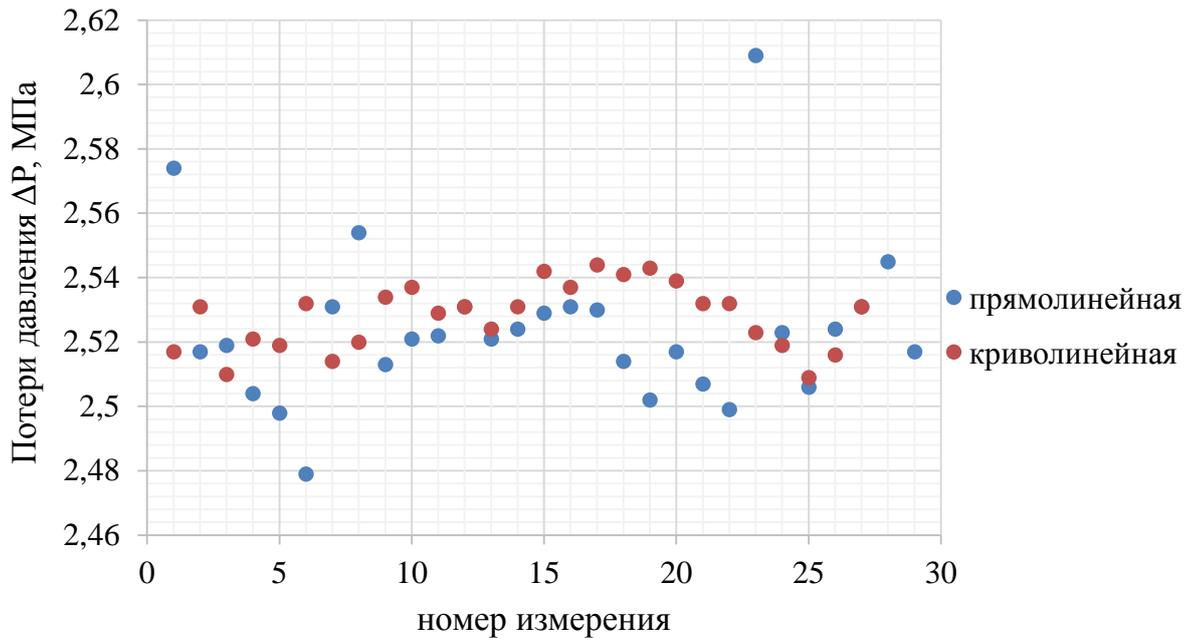


Рисунок 3.14 – Результаты измерений потерь давления при подаче воды при прямолинейной и криволинейной прокладке рукавной линии

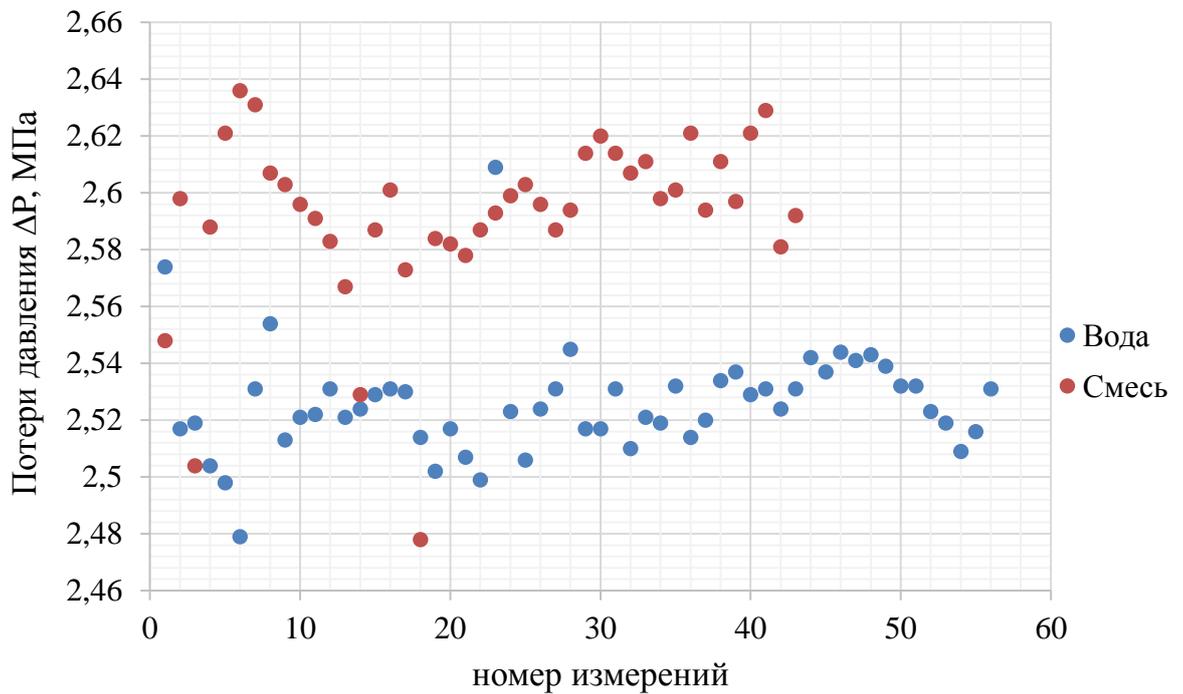


Рисунок 3.15 – Результаты измерений потерь давления при подаче воды и смеси в горизонтальной плоскости при прямолинейной прокладке

Результаты дисперсионного анализа показали, что влияние способа прокладки рукавных линий на потерю давления в рукавах для случая подачи воды и смеси не значительно. Однородность результатов измерений можно видеть на рисунках 3.13 и 3.14. В свою очередь потери напора существенно зависят от вида транспортируемого по рукавам огнетушащего вещества (воды или смеси воды и абразива). Отсутствие однородности данных подтверждено дисперсионным анализом и может наблюдаться на рисунке 3.15.

Ввиду того, что значения гидравлических потерь напора, полученных с учетом кривизны, практически не отличаются от значений, полученных при прямолинейной прокладке, дальнейшую обработку экспериментальных значений будем производить с данными, полученными при прямолинейной прокладке для того чтобы получить истинное значение коэффициента гидравлического трения при линейных потерях напора.

В результате обработки экспериментальных данных был определен коэффициент гидравлического трения λ^2 , значение которого составило 0,019. Помимо этого, на основе экспериментальных данных были определены рабочие характеристики установки пожаротушения, которые позволили установить, что значение числа Рейнольдса находится в пределах $20000 < Re < 100000$, что соответствует области гидравлически гладких труб, а коэффициент гидравлического трения может быть определен по формуле Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (3.12)$$

Значение определенного теоретическим расчетом коэффициента гидравлического трения составило $\lambda_{теор} = 0,0191$, что хорошо согласуется со значением коэффициента гидравлического трения, полученного экспериментальным путем.

Формула Блазиуса удобна еще тем, что для ее использования не нужно уточнять относительную шероховатость поверхности, так как при движении воды в заданных числах Рейнольдса образуется ламинарный слой, толщина которого

больше выступов шероховатости, в связи с чем шероховатость не влияет на сопротивление потоку воды.

Полученное в результате теоретической оценки значение коэффициента гидравлического трения и произведенные исследования по определению значений потерь напора по воде позволяют утверждать, что потери напора могут быть вычислены по формуле Дарси–Вейсбаха при полученном коэффициенте гидравлического трения, так как погрешность вычислений относительно экспериментальных данных не превышает 5%.

На гидравлические потери напора в рукавных линиях установок пожаротушения с гидроабразивной резкой оказывает влияние большое количество факторов, в связи с этим с практической точки зрения следует основываться на экспериментальных данных, полученных при условиях, приближенных к реальной эксплуатации установок.

Полученное значение коэффициента гидравлического трения λ^3 и значения средней скорости потока V позволяют установить предельную дальность подачи воды установками пожаротушения с гидроабразивной резкой, которая составляет 317 м при условии, что давление перед стволом должно быть не менее 22 МПа. При меньших значениях давления теряются огнетушащие и режущие способности установки пожаротушения.

Для упрощения расчетов насосно-рукавных систем были определены значения гидравлических сопротивлений для рукавных линий длиной 80 и 40 м, так как при наращивании рукавных линий применяются рукавные катушки с длиной линий именно таких размеров.

Зная гидравлические сопротивления рукавных линий, потери напора рукавной линии, составленной из нескольких последовательно соединенных рукавов можно определить по формуле [109]:

$$\Delta H = nS_p Q^2, \quad (3.13)$$

где n – количество рукавов, шт.; S_p – гидравлическое сопротивление одного рукава, (с/м²)м; Q – расход воды, л/с.

$$S_p = \frac{8\lambda}{\pi^2 g d^2} l \cdot 10^{-6}. \quad (3.14)$$

Так как расход установки пожаротушения является величиной постоянной, то потери напора в рукавной линии будут зависеть от количества рукавов, находящихся в рукавной системе. Определенные с учетом полученного при экспериментальном исследовании расхода огнетушащего вещества значения коэффициентов гидравлического сопротивления для рукавных катушек длиной 40 и 80 м составили: $S_p^{40} = 252,622 \text{ (с/л)}^2\text{м}$ и $S_p^{80} = 505,24 \text{ (с/л)}^2\text{м}$ соответственно.

Наиболее сложной с инженерной точки зрения являлась задача теоретического исследования потерь напора при движении двухфазного потока для рассматриваемых условий и рабочих параметров установки. Связано это в первую очередь с тем, что в инженерной гидравлике все рассматриваемые системы работают при меньших скоростях и давлениях, а также в большей степени рассматриваются жесткие трубопроводы, линейные размеры которых не изменяются при повышенном давлении.

Потери напора для двухфазного потока (смеси) состоят из суммы потерь напора по воде и дополнительных потерь, обусловленных наличием твердых частиц в потоке гидросмеси, и могут быть определены по формуле 3.5 [130].

Удельные потери напора по воде были определены ранее по формуле Дарси–Вейсбаха.

Дополнительные потери с учетом расхода смеси, определяются по формуле 3.15, которая имеет вид:

$$\Delta i = \delta^4 \sqrt{j^3} \sqrt{C_0^2} \frac{Q_{кр.см}}{Q}, \quad (3.15)$$

где $Q_{кр.см}$ – расход системы при критической скорости, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q – расход смеси, $\text{м}^3/\text{с}$;

Для определения разнозернистости абразивного материала он был просеян через специальное сито, в результате чего было установлено, что размеры частиц абразива не превышают 0,8 мм. Это условие позволило предположить, что

разнозернистость абразива является однородной, и коэффициент разнозернистости твердых частиц равен $j = 2$.

Коэффициент, учитывающий влияние относительной крупности частиц по отношению к диаметру трубы δ , определяется из справочных данных [130], но ввиду отсутствия значений коэффициента, подходящего под рассматриваемые условия, был принято наиболее приближенное значение коэффициента, которое составило $\delta = 0,3$.

Действительная объемная консистенция C_0 определяется по формуле.

$$C_0 = \frac{\gamma_{см} - \gamma}{\gamma_{тв} - \gamma}, \quad (3.16)$$

где $\gamma_{см}$ – объемный вес гидросмеси, Н/м³; $\gamma_{тв}$ – объемный вес твердых частиц, Н/м³; γ – объемный вес воды, Н/м³;

Объемный вес воды, определяется по формуле:

$$\gamma = \rho_g g, \quad (3.17)$$

где ρ_g – плотность воды при учете избыточного давления и температуры, кг/м³;
 g – ускорение свободного падения, м/с².

Рассчитанное по формуле 3.17 значение объемного веса воды составило 9987,72 Н/м³.

Для определения объемного веса твердых частиц необходимо определить плотность смеси твердых частиц, которая определяется по формуле:

$$\rho_{тв} = \frac{\sum \rho_i \cdot n}{100\%}. \quad (3.18)$$

При проведении экспериментального исследования применялся абразив, состав и плотности компонентов которого отражены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Состав применяемого абразива

Состав абразива	Плотность компонентов	Название
(Fe) ₂ SiO ₄ – 92,2 %	4,39 г/см ³	фаялит
SiO ₂ – 4,6 %	2,648 г/см ³	кремнезем
Fe ₃ O ₄ – 3,2 %	4,9-5,2 г/см ³	магнетит

Рассчитанное значение объемного веса твердых частиц составило 42477,3 Н/м³.

Для определения объемного веса гидросмеси необходимо воспользоваться формулой:

$$\gamma_{см} = \frac{W_{мс} \cdot \gamma_{мс} + W_0 \cdot \gamma}{W_{см}}, \quad (3.19)$$

где $W_{мс}$, W_0 , $W_{см}$ – объемы твердых частиц, воды и смеси в целом, м³.

Для вычисления объемов, определяемых через массу и плотность веществ, был проведен натурный эксперимент, который позволил определить массовое содержание компонентов в смеси.

Два тарированных образца наполнялись гидросмесью, после чего производились измерения массы. Затем сливали воду, образцы взвешивались. После удаления абразива взвешивались емкости. Полученные в ходе проведения натурального эксперимента значения отражены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Значения, полученные в ходе эксперимента

Параметр	Образец 1	Образец 2
Полная масса, гр.	3885	3838
Масса емкости и сырого абразива, гр.	1211	1222
Масса после просушки абразива, гр.	1190	1197
Масса пустой емкости, гр.	855	831
Масса абразива, гр.	335	366
Масса воды, гр.	2695	2641

На основании полученных в ходе натурального эксперимента данных расчетное значение объемного веса гидросмеси, составило $\gamma_{см} = 10848,2$ Н/м³.

В результате полученных значений объемного веса всех компонентов смеси была определена действительная объемная консистенция, значение которой составило $C_0 = 0,0283$ Н/м³.

Расход системы при критической скорости определяется по формуле.

$$Q_{кр.см} = V_{кр} \cdot \omega, \quad (3.20)$$

где ω – площадь поперечного сечения рукава, м²; $V_{кр}$ – критическая скорость движения гидросмеси, м/с.

Критическая скорость гидросмеси определяется по формуле (3.4):

$$V_{кр} = 8,3\sqrt[3]{D^6 \sqrt{C_0 \psi_*}}$$

Коэффициент транспортабельности ψ_* определяется по справочным данным в зависимости от крупности частиц и составляет $\psi_* = 0,8$ [130].

Исходя из полученных исходных данных значение критической скорости составило $V_{кр} = 1,011$ м/с, а расход системы при критической скорости $Q_{кр.см} = 1,14243 \cdot 10^{-4}$ м³/с.

Расчет скорости потока смеси производился исходя из полученных в ходе экспериментального исследования значений потерь напора при учете плотности смеси. В результате обработки экспериментальных данных было определено, что средняя скорость потока смеси составляет 6,022 м/с. Исходя из этого, расход смеси составляет $Q_{см} = 6,80486 \cdot 10^{-4}$ м³/с.

В результате проведенного теоретического исследования по оценке величины дополнительных потерь было установлено, что дополнительные потери, возникающие при транспортировке твердых частиц потока, составляют $\Delta i = 0,0056$ м с одного метра рукавной линии.

Общая величина потерь напора при транспортировке двухфазного потока (смеси) составляет $i_{см} = 3,1836$ м с участка рукава протяженностью 1 м. Ввиду того, что рассматриваемая гидросмесь представляет собой жидкость, отличную от воды, сравнивать показатели потерь напора по воде и смеси в метрах является не совсем уместным, так как у воды и смеси различные плотности. В связи с этим, сравнительный анализ необходимо проводить в МПа.

Полученное расчетным методом значение потерь напора при транспортировании двухфазного потока жидкости и абразива по рукавной линии длиной 80 м составляет 2,763 МПа.

Сравнивая значения, полученные экспериментальным путем и рассчитанные теоретически, можно заключить, что расчетный метод адекватно описывает процесс потерь напора при транспортировании гидросмеси, так как различия не превышают 6%.

На основании полученных результатов была произведена оценка максимальной дальности подачи огнетушащих веществ, представляющих собой смесь воды и абразива, исследуемой установкой пожаротушения с гидроабразивной резкой для целей резки конструкций и пожаротушения, которая составила 290 м.

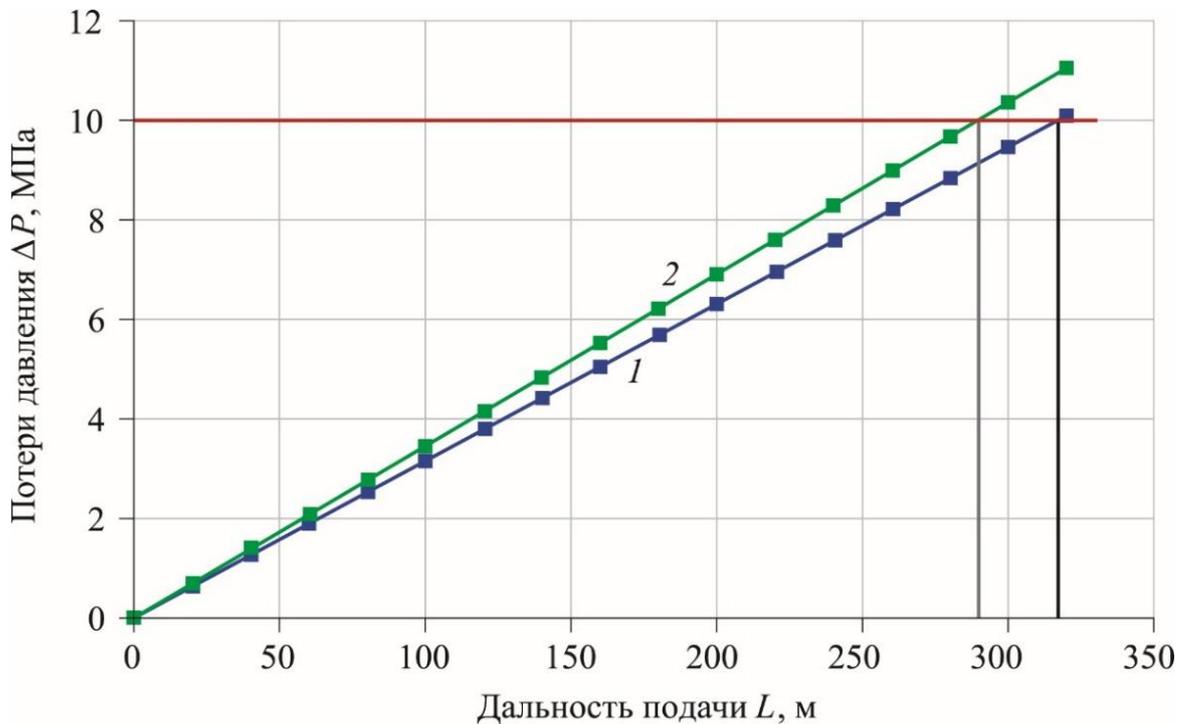


Рисунок 3.16 – Сравнительный анализ данных по воде и смеси

1 – линейные потери по воде; 2 – линейные потери по смеси

— предельная дальность подачи воды, м; — предельная дальность подачи смеси, м;

— максимально допустимое падение давления, МПа

Достоверность полученных результатов достигается тем, что экспериментальное исследование проводилось при нормальных климатических условиях, соответствующих ГОСТ 15150 [131]. Обработка полученных результатов измерений проводилась в соответствии с ГОСТ 8.736, Р 50.2.038, МИ 2083 [94, 132, 133].

Длину рукавной линии определяли при помощи рулетки со стальной лентой, для которой согласно техническим условиям отклонение действительной длины составляет не более $\pm [0,40+0,20 (l-1)]$ мм. Так, для рулетки длиной 20 м общая абсолютная погрешность Δl составила $\pm 4,2 \cdot 10^{-3}$ м.

Пределы допускаемой основной приведенной погрешности значений избыточного давления P_1 и P_2 , определенных при помощи средств измерений составляют:

- регистратор (РТМ 59) – 0,15%;
- преобразователь давления (АИР-20-/М2-Н) с верхним пределом измерения 40 МПа – 0,5%.

Суммарная систематическая погрешность средств измерения избыточного давления воды составит:

$$\Delta P_{1,2} = \left(\pm \frac{4 \cdot 0,15}{100} \right) + \left(\pm \frac{4 \cdot 0,5}{100} \right) = \pm 0,026 \text{ МПа} \quad (3.21)$$

Помимо прямых измерений проводились измерения и косвенные, в результате которых были оценены потери напора h_{1-2} и h_{1-2}^2 , коэффициент линейного гидравлического сопротивления λ^3 , ускорение свободного падения g .

Значения потерь напора h_{1-2} и h_{1-2}^2 определяли по формуле (3.10). Погрешность результатов косвенных измерений вычислялись по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta_{h_{1-2}} &= \frac{\partial h_{1-2}}{\partial P_1} \Delta_{P_1} + \frac{\partial h_{1-2}}{\partial P_2} \Delta_{P_2} + \frac{\partial h_{1-2}}{\partial \rho_1} \Delta_{\rho_1} + \frac{\partial h_{1-2}}{\partial \rho_2} \Delta_{\rho_2} + 2 \frac{\partial h_{1-2}}{\partial g} \Delta_g = \\ &= \frac{1}{\rho_1 g} \Delta_{P_1} - \frac{P_1}{\rho_1^2 g} \Delta_{\rho_1} - \frac{P_1}{\rho_1 g^2} \Delta_g - \frac{1}{\rho_2 g} \Delta_{P_2} + \frac{P_2}{\rho_2^2 g} \Delta_{\rho_2} + \frac{P_2}{\rho_2 g^2} \Delta_g. \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\Delta_{h_{1-2}^2} = \frac{\partial h_{1-2}^2}{\partial \delta P} \Delta_{\delta P} + \frac{\partial h_{1-2}^2}{\partial \rho} \Delta_{\rho} + \frac{\partial h_{1-2}^2}{\partial g} \Delta_g = \frac{h_{1-2}^2}{\delta P} \Delta_{\delta P} - \frac{h_{1-2}^2}{\rho} \Delta_{\rho} - \frac{h_{1-2}^2}{g} \Delta_g. \quad (3.23)$$

Значения экспериментального коэффициента линейного гидравлического сопротивления λ^3 определяли по формуле (3.11). Погрешность результатов косвенных измерений коэффициента линейного гидравлического сопротивления вычислялась по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta_{\lambda^3} &= \frac{\partial \lambda^3}{\partial h_{1-2}^2} \Delta_{h_{1-2}^2} + \frac{\partial \lambda^3}{\partial d} \Delta_d + \frac{\partial \lambda^3}{\partial g} \Delta_g + \frac{\partial \lambda^3}{\partial \ell} \Delta_{\ell} + \frac{\partial \lambda^3}{\partial V} \Delta_V = \\ &= \frac{\lambda^3}{h_{1-2}^2} \Delta_{h_{1-2}^2} + \frac{\lambda^3}{d} \Delta_d + \frac{\lambda^3}{g} \Delta_g - \frac{\lambda^3}{\ell} \Delta_{\ell} - 2 \frac{\lambda^3}{V} \Delta_V. \end{aligned} \quad (3.24)$$

Значение ускорения свободного падения g принято $9,815 \text{ м/с}^2$ с учетом географической широты и высоты над уровнем моря (для города Москвы).

Отклонение значения ускорения свободного падения было вычислено при помощи математическо маятника и составило $\Delta g = \pm 0,02 \text{ м/с}^2$.

На основании анализа погрешностей экспериментального определения потерь напора Δh , можно заключить, что погрешность определения не превышает $\pm 0,24 \text{ м}$.

Определив экспериментальным путем потери напора в рукавной линии, рассчитаем силу реакции струи. Оценка силы реакции струи с учетом потерь напора, полученных экспериментальным путем, необходима для личного состава подразделений, работающих со стволом установки на скользких поверхностях или высотах, а также для мобильной робототехники, работающей со стволом установки пожаротушения.

Рассчитаем силу реакции струи при использовании стандартной 80-метровой катушки с учетом полученных в результате экспериментального исследования потерь напора.

Расчет скорости потока на выходе из сопла производился исходя из уравнения неразрывности:

$$V_1 \cdot \omega_1 = V_2 \cdot \omega_2, \quad (2.25)$$

где V_1 – средняя скорость потока в рукавной линии, м/с; ω_1 – площадь поперечного сечения рукава, м^2 ; V_2 – скорость струи на выходе из сопла, м/с; ω_2 – площадь поперечного сечения сопла, м^2 .

Для расчета силы реакции струи необходимо ввести уточняющий коэффициент, учитывающий небольшие отклонения параметров расхода, давления и скорости. Уточняющий коэффициент рассчитывается по формуле [86]:

$$c = \frac{Q}{\omega_2 \cdot V_2}, \quad (3.26)$$

где Q – расход огнетушащего вещества, $\text{м}^3/\text{с}$,

Оценку силы реакции струи производили исходя из второго закона Ньютона по формуле 3.27.

$$R = 2 \cdot c \cdot \omega_2 \cdot P_2, \quad (3.27)$$

На основании полученных данных по потерям давления была оценена сила реакции струи, значение которой составило для воды $R_g = 249$ Н (25,4 кг), для смеси $R_{см} = 254$ Н (25,9 кг).

3.4 Математическая обработка полученных результатов

Оценку результатов по потерям давления, полученных экспериментально и определенных теоретически, произведем при помощи коэффициента детерминации.

Коэффициент детерминации используется для оценки согласованности экспериментальных данных с теоретическими, определенными по формуле Дарси–Вейсбаха (модели). Модели с коэффициентом детерминации выше 80% можно признать достаточно хорошими. Значения коэффициента детерминации $R^2 = 1$ означает функциональную зависимость между переменными.

Коэффициент детерминации рассчитывается по формуле:

$$r_{x,y} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma(x) \cdot \sigma(y)}, \quad (3.28)$$

где \bar{x} – среднее по данным величины x ; \bar{y} – среднее по данным величины y ; \overline{xy} – среднее от произведения данных величин x и y ; $\sigma(x)$ – стандартное отклонение величины x ; $\sigma(y)$ – стандартное отклонение величины y .

Для расчета значения коэффициента детерминации используется алгоритм, включающий в себя три этапа.

На первом этапе алгоритма определяются средние значения \bar{y} , \bar{xy} .

Средние значения определяются по формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}; \quad (3.29)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}; \quad (3.30)$$

$$\overline{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n}; \quad (3.31)$$

На втором этапе алгоритма определяют значения стандартных отклонений $\sigma(x)$, $\sigma(y)$:

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)}, \quad (3.32)$$

$$\sigma(y) = \sqrt{D(y)}, \quad (3.33)$$

где $D(x)$, $D(y)$ – дисперсии величин x и y .

Дисперсии величин x и y определяются по формулам:

$$D(x) = \frac{\sum x_i^2}{n} - (\overline{x})^2, \quad (3.34)$$

$$D(y) = \frac{\sum y_i^2}{n} - (\overline{y})^2, \quad (3.35)$$

На третьем этапе алгоритма определяют коэффициент детерминации по формуле 3.28.

Пусть для рассматриваемого случая опытные данные представим величиной x , тогда теоретические данные (модельный случай) будет величиной y . Результаты наблюдений сведем в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Значения для математической обработки

№ п/п	x	y	$x \cdot y$	x^2	y^2
1	0,6314	0,631	0,398413	0,398666	0,398161
2	1,2628	1,262	1,593654	1,594664	1,592644
3	1,8942	1,8928	3,585342	3,587994	3,582692
4	2,5256	2,5237	6,373857	6,378655	6,369062
5	3,157	3,1546	9,959072	9,966649	9,951501
6	3,788	3,7856	14,33985	14,34894	14,33077
7	4,4198	4,416	19,51784	19,53463	19,50106
8	5,0512	5,047	25,49341	25,51462	25,47221
9	5,6826	5,678	32,2658	32,29194	32,23968
10	6,314	6,3093	39,83692	39,8666	39,80727
11	6,945	6,94	48,1983	48,23303	48,1636
12	7,5768	7,57	57,35638	57,4079	57,3049
13	8,208	8,202	67,32202	67,37126	67,2728

14	8,8396	8,833	78,08019	78,13853	78,02189
15	9,471	9,464	89,63354	89,69984	89,5673
16	10,102	10,095	101,9797	102,0504	101,909
Суммы	85,869	85,804	595,9343	596,3843	595,4846

При определении средних значений величин были получены значения:
 $\bar{x} = 5,367$, $\bar{y} = 5,363$, $\overline{xy} = 37,25$.

При этом дисперсии величин составили:

$$D(x) = 8,47; D(y) = 8,46.$$

На основании полученных значений дисперсии величин были определены значения стандартных отклонений, которые составили $\sigma(x) = 2,91$ и $\sigma(y) = 2,90$.

Коэффициент детерминации составил:

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma(x) \cdot \sigma(y)} = \frac{37,25 - 5,367 \cdot 5,363}{2,91 \cdot 2,90} = 1,00.$$

Коэффициент детерминации показывает, что данные отлично согласуются друг с другом. Это условие подтверждает, что полученные на основании экспериментального исследования гидравлические характеристики рукавов, адекватно характеризуют процесс потерь напора.

3.5 Выводы по третьей главе

1. На основании проведенного анализа научно-методических работ по определению гидравлических характеристик насосно-рукавных систем, применяемых в пожаротушении, был разработан измерительный комплекс для определения гидравлических характеристик систем пожаротушения с гидроабразивной резкой, позволяющий работать со средами, отличными от воды в диапазоне давлений от 0 до 40 МПа.

2. При помощи измерительного комплекса были проведены экспериментальные исследования по определению значений гидравлических

потерь напора при подаче огнетушащих веществ в виде воды и смеси воды и абразивных частиц по горизонтали, на основании которых были получены: коэффициент гидравлического трения λ^3 равный 0,019, коэффициенты гидравлического сопротивления для рукавных катушек 40 и 80 м: $S_p^{40} = 252,622$ (с/л)²м и $S_p^{80} = 505,24$ (с/л)²м соответственно, были определены дополнительные потери напора, возникающие при транспортировке абразивных частиц $\Delta i = 0,0056$ м.

3. Полученные экспериментальные данные позволили определить максимальные расстояния, на которые возможно подать огнетушащие вещества в виде воды и смеси воды и абразива, которые составили: 317 м для воды и 290 м для смеси.

ГЛАВА 4 ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

4.1 Обоснование технических требований к конструкции разрабатываемого робототехнического средства пожаротушения

Основной угрозой для человека являются возникающие в результате пожара опасные факторы, которые согласно [134, 135] представляют собой:

- пламя и искры;
- тепловой поток ($1,4 \text{ кВт/м}^2$);
- повышенную температуру окружающей среды (70°C);
- повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения ($\text{CO}_2 - 0,11 \text{ кг/м}^3$, $\text{CO} - 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, $\text{HCL} - 23 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$);
- пониженную концентрацию кислорода ($0,226 \text{ кг/м}^3$);
- снижение видимости в дыму (20 м и менее).

Указанные значения являются минимальными, при которых возникает угроза для человека. На пожаре эти значения могут быть в десятки раз больше, и даже специальная защитная одежда не может в полной мере гарантировать полную защиту участников тушения пожара.

Воздействие опасных факторов на строительные конструкции и оборудование создает дополнительные опасности или, как их называют, вторичные проявления опасных факторов пожара, выражающиеся в обрушении строительных конструкций, взрывах и сопутствующих им опасностей, поражении электрическим током и др.

Следовательно, основным предназначением мобильной робототехники пожаротушения является эффективное тушение пожаров в условиях, опасных для человека.

Применение мобильной робототехники при тушении пожаров подразумевает то, что она способна выполнять свои функции при воздействии

опасных факторов пожара. В связи с этим, для формирования требований к конструкции разрабатываемого робототехнического средства пожаротушения необходимо рассмотреть влияние каждого опасного фактора пожара на конструкцию РТС и предусмотреть защиту от них [136].

При работе РТС у очага основным поражающим фактором является тепловой поток и высокая температура. В литературе [18] отражены значения теплового потока и температуры газовой среды для зоны чрезвычайно опасного воздействия, которые составляют: тепловой поток – свыше 12,5 кВт/м², температура газовой среды – свыше 200°С. Значения теплового потока и температуры указаны для зоны, в которой наиболее целесообразно применять мобильную робототехнику, а не производить тушение, задействовав личный состав пожарно-спасательных подразделений.

Для защиты корпуса робототехнического средства пожаротушения необходимо произвести его обработку защитным составом, все кабельные соединения и провода должны быть защищены металлической оплеткой, а в конструкции РТС должна быть предусмотрена система собственного орошения, которая защитит его от перегрева и снизит воздействие теплового потока.

При тушении пожаров на объектах энергетики могут возникать условия, когда горящие помещения, имеющие даже большие объемы, заполняются плотным дымом, в результате чего снижается видимость, а наличие кислорода воздуха в помещении существенно уменьшается. Образование плотного задымления и быстрый рост температуры зачастую могут возникать в результате горения оболочки электрокабелей или иных видов резинотехнических изделий.

Работа звеньев газодымозащитной службы в рассматриваемых условиях осложняется тем, что время следования до очага и время выхода существенно увеличиваются, сокращая при этом время работы у очага. Это условие необходимо учитывать, говоря о целесообразности применения робототехники.

Исходя из этого, время непрерывной работы робототехнического средства пожаротушения должно быть не менее 4 часов, исходя из анализа оперативно-тактических действий личного состава при тушении пожаров.

Ввиду пониженного содержания кислорода в воздухе применение в конструкции РТС двигателя внутреннего сгорания можно исключить и выступить за использование электромеханического привода. Подбираемые электромоторы должны обеспечивать свободное перемещение РТС в условиях объекта, а также создавать тяговые усилия не менее 1000 Н, что было определено ранее.

Для проведения разведки и пожаротушения в условиях задымления РТС должно быть оснащено системой технического зрения, представляющей собой набор телекамер и средств освещения, а также тепловизор, для поиска очагов горения, скрытого горения и определения степени прогрева строительных конструкций и оборудования.

Информация со всех систем должна передаваться в режиме реального времени на пульт оператора.

Применение мобильной робототехники в условиях объекта предъявляет к конструкции робототехнических средств дополнительные требования, связанные с габаритными размерами и массой. Большинство помещений объектов энергетики оборудованы дверными проемами общего пользования. Наличие технологического оборудования даже в машинном зале не позволяет делать конструкцию громоздкой, следовательно, габаритные размеры разрабатываемого РТС должны позволять ему свободно перемещаться по объекту.

Массовые характеристики должны обеспечить доставку РТС на высотные отметки станции личным составом пожарно-спасательных подразделений.

Анализ существующих образцов мобильной робототехники пожаротушения и выполняемых ими задач позволил установить, что для РТС, разрабатываемого для объектов энергетики, наиболее оптимальным является гусеничное шасси, позволяющее распределить всю массу РТС равномерно по гусеницам и обеспечивающее свободное перемещение даже в условиях небольших завалов.

Анализ нормативной и научно-технической литературы [18, 58, 61, 65, 66,], а также проведенные в работе исследования позволили сформировать технические требования к конструкции робототехнического средства, разрабатываемого для объектов энергетики, которые отражены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические требования к конструкции РТС

Наименование параметра	Значение параметра
Цели применения:	1. Проведение разведки пожара, сбор данных и мониторинг обстановки; 2. Тушение пожаров, проведение аварийно-спасательных работ
Среда применения	наземные
Степень функциональности:	Многофункциональные (универсальные)
Оснащение средствами тушения и проведения АСР	1. Лафетный дистанционно-управляемый ствол с расходом огнетушащих веществ от 15 до 20 л/с; 2. Ствол установки пожаротушения с гидроабразивной резкой; 3. Роботизированная рука-манипулятор.
Применяемые огнетушащие составы	1. Вода, водный раствор пенообразователя; 2. Тонкораспыленная вода (170 мкм); 3. Смесь воды и абразива для резки.
Вид линий связи	1. Радио; 2. Проводная;
Тип привода	Электромеханический
Тип движителя ходового модуля или базовой машины	Гусеничные
Типы, классы и параметры типов наземных РТС	Легкий первый Масса св. 100 до 300 кг вкл. Подкласс от 101 до 150 кг вкл.
Габаритные размеры	Не более мм: 1500x900x1900
Время непрерывной работы РТС	Не менее 4 ч.
Значение тяговых усилий	Не менее 1000 Н (100 кгс)
РТС должно сохранять работоспособность при следующих значениях параметров внешних факторов	
Механические	1. Избыточное давление в взрывной ударной волны в момент удара не менее 29,4 кПа (0,3 кг·см ⁻²); 2. Удар о преграду (соударение) при толчке, падении – не менее 98,0 кПа (1 кг·см ⁻²); 3. Температура окружающей среды – от 223 К до 323 К (от минус 35 °С до 40 °С); 4. Токи утечки силой не менее 1 мкА
Радиационные	Интенсивность гамма излучения мощностью не менее 10 Зв/ч в течение 4 ч. (установлено заказчиком)
Термические	1. Поверхностная плотность теплового потока не менее 14,5 кВт·м 2. Температура газовой среды пожара - не менее 200 °С; 3. Плотность задымления - не менее 1,5·10 ⁻³ кг/м ³

Проведенные исследования позволили также установить, что наиболее рациональным решением будет разделение выполняемых функций между двумя робототехническими средствами, так как технически довольно сложно совместить в одной конструкции несколько средств пожаротушения и разработать под эти условия тактику применения.

Тактика применения установок пожаротушения с гидроабразивной резкой предполагает мобильность ствола установки, необходимую для осуществления подачи огнетушащих веществ с различных направлений и режима резки. В связи с этим в конструкции РТС была предусмотрена роботизированная рука–манипулятор, которая позволит маневрировать стволом установки при тушении и резке, а также осуществлять проведение аварийно-спасательных работ за счет схвата и способности вращения руки в 5 плоскостях.

Проведенные исследования легли в основу разработки проекта создания робототехнического комплекса, предназначенного для тушения пожаров на объектах энергетики, состоящего из двух робототехнических средств. Схожим для обоих образцов робототехнических средств будет являться транспортная база, на которой будут размещены средства тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ.

Робототехническое средство №1 (рисунок 4.1), входящее в состав робототехнического комплекса, будет представлять собой дистанционно-управляемую платформу с электромеханическим приводом и гусеничным шасси, на которой размещены дистанционно-управляемый лафетный ствол, система технического зрения, тепловизор и набор необходимого оборудования.



Рисунок 4.1 – Модель робототехнического средства №1

Робототехническое средство №1 будет предназначено для разведки на месте пожара, мониторинга обстановки и выполнения действий по пожаротушению. За счет установленного дистанционно-управляемого лафетного ствола РТС-1 будет обладать возможностью подачи огнетушащих веществ в виде воды и водного раствора пенообразователя с расходом от 15 до 20 л/с, имея дальность подачи по воде не менее 50 м.

Габаритные размеры и массовые характеристики РТС будут обеспечивать его свободное перемещение в условиях горящего объекта, при этом возможность непрерывной работы будет составлять не менее 4 часов.

Управление РТС-1 будет осуществляться при помощи пульта дистанционного управления, на который в режиме реального времени будет передаваться информация с системы технического зрения и тепловизора.

Робототехническое средство №2 (рисунок 4.2), входящее в состав робототехнического комплекса, будет представлять собой дистанционно-

управляемую платформу с электромеханическим приводом и гусеничным шасси, на которой будет размещаться роботизированная рука-манипулятор со схватом, имеющая пять степеней свободы, ствол установки пожаротушения с гидроабразивной резкой, предназначенный для тушения пожаров и резки конструкций, система технического зрения, тепловизор и набор необходимого оборудования.

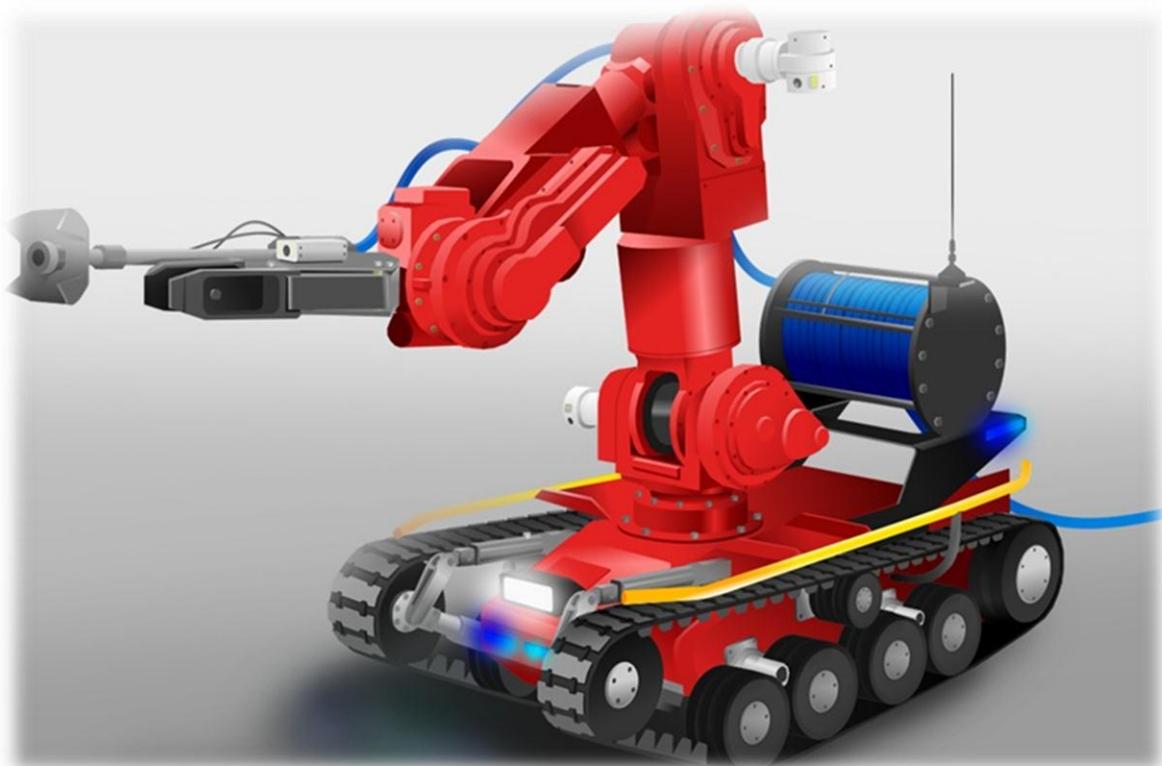


Рисунок 4.2 – Модель робототехнического средства №2

Основным преимуществом робототехнического средства №2 является возможность тушения пожаров электрооборудования под напряжением как в объеме помещения, так и поверхностно. Дальность подачи огнетушащих веществ будет составлять до 15 м, при расходе не более 60 л/мин. Возможности гидроабразивной резки позволят осуществлять подачу огнетушащих веществ в объем горящего помещения, производя локально-объемное пожаротушение, при этом проведение работ возможно в условиях взрывоопасных концентраций. Малый расход огнетушащего вещества позволит решить проблему с излишним

проливом огнетушащих веществ, особенно в условиях объекта энергетики, где даже в момент тушения часть электрооборудования может функционировать.

Габаритные размеры и массовые характеристики даже при наличии роботизированного манипулятора обеспечат свободное перемещение робототехнического средства в условиях горящего объекта.

Роботизированная рука-манипулятор позволит эффективно работать со стволом установки пожаротушения, как этого требует тактика применения установок [90]. Наличие схвата позволит производить разборку конструкций, их резку и транспортировку в место утилизации.

Управление робототехническим комплексом может осуществляться как по отдельности, так и централизованно, при помощи мобильного комплекса группового управления робототехническими средствами.

Для координации действий робототехнических средств, входящих в робототехнический комплекс, а также для установления места нахождения робототехнических средств, в их конструкции будут предусмотрены передатчики сигнала, с резервным питанием.

Робототехнический комплекс, предназначенный для тушения пожаров на объектах энергетики, будет являться хорошим подспорьем для пожарных подразделений, участвующих в тушении пожаров на данных объектах, а порой и единственным средством пожаротушения, применимым в сложившихся условиях. Основные тактико-технические требования, предъявляемые к конструкции робототехнического комплекса, были сформированы в результате научных исследований, с учетом специфики объекта и выполняемых задач.

В результате проведенных исследований удалось разработать опытный образец робототехнического средства №1, и провести с ним серию испытаний, направленную на соответствие РТС заявленным требованиям, а также с целью выявления особенностей его эффективного применения при тушении пожаров.

4.2 Мобильная роботизированная установка, предназначенная для проведения работ по пожаротушению на объектах энергетики

Разработка робототехнического комплекса началась с создания опытного образца роботизированной дистанционно-управляемой установки пожаротушения (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Мобильная роботизированная дистанционно-управляемая установка пожаротушения

Мобильная роботизированная дистанционно-управляемая установка пожаротушения (МРУП) предназначена для проведения разведки пожара, мониторинга обстановки на месте пожара и подачи огнетушащих веществ для целей пожаротушения и защиты строительных конструкций на объектах энергетики.

МРУП может использоваться в качестве самостоятельной единицы или совместно с личным составом пожарно-спасательных подразделений для выполнения следующих функций:

- проведения разведки на месте пожара, дистанционно получая команды от оператора в режиме реального времени, передавая информацию с приборов видеонаблюдения и средств мониторинга на пульт оператора;
- подачи для тушения пожара огнетушащих веществ в виде воды и раствора пенообразователя с расходом от 15 до 20 л/с, работая от передвижной пожарной техники или внутреннего водопровода;
- освещения места проведения работ и пути следования при разведке и пожаротушении.

МРУП соответствует климатическому исполнению УХЛ (для эксплуатации при температуре воздуха от -40°C до 45°C), категории размещения 1 (для эксплуатации на открытом воздухе), эксплуатации в атмосфере типов 1 и 2 (условно чистой и промышленной) по ГОСТ 15150 [131].

МРУП способна оставаться работоспособной в полях гамма-излучения с мощностью дозы до 10 Зв/ч в течение 4 часов и в условиях промышленных радиопомех до 150 мВ в диапазоне частот от 0,15 до 30 МГц.

Основные тактико-технические характеристики МРУП отражены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Тактико-технические характеристики МРУП

Наименование параметра	Значение
1. Показатели назначения	
1.1. Расстояние дистанционного управления*, м, не более	200
1.2. Частота радиоканала управления, МГц	От 433,05 до 434,79
1.3. Скорость передвижения изделия, км/ч, не более	3
1.4. Углы опрокидывания, град., не менее	
– продольный	35
– поперечный	30
1.5. Угол разворота «на месте», град., не менее	360
1.6. Тяговое усилие (без подсоединённых рукавов), кгс, не более	100
1.7. Максимальная дальность приема видеосигнала на монитор от установки, м	400

1.8. Параметры сканирования объекта (при движении и на стационаре):	
– в горизонтальной плоскости (от оси движения), град.	От – 90 до +90
– в вертикальной плоскости (от горизонта), град.	От –15 до +45
– шаг перемещения в вертикальной плоскости, град.	Непрерывно
1.9. Дальность обнаружения пламени (стандартного очага пожара), м, не менее	50
1.10. Параметры перемещения ствола (при движении и на стационаре):	
– в горизонтальной плоскости (от оси движения), град.	От – 120 до +120
– в вертикальной плоскости (от горизонта), град.	От – 15 до +75
– скорость перемещения ствола, град./с, не менее	3
1.11. Расход воды из ствола (при давлении перед входом в установку 0,6МПа), л/с	От 15 до 20
1.12. Расход водного раствора пенообразователя из ствола (при давлении перед входом в установку 0,6МПа), л/с, не более	От 15 до 20
1.13. Дальность струи (по крайним точкам при давлении перед входом в установку 0,6МПа), м, не менее:	
– водяной сплошной	45
– распыленной (при угле факела 30°)	30
– пенной	30
1.14. Диапазон изменения угла факела распыленной струи воды, град.	От 0 до 120
2. Показатели надежности	
2.1. Время непрерывной работы, ч, не менее	4
2.2. Установленная безотказная наработка, ч, не менее	200
2.3. Полный срок службы, лет	10
3. Показатели использования энергии	
3.1. Мощность прожектора, Вт, не менее	10
3.2. Ёмкость АКБ установки, Ач, не менее	18
3.3. Напряжение АКБ, В	24
3.4. Допустимая величина разряда АКБ, %, не более	40
3.5. Ёмкость АКБ пульта дистанционного управления (ПДУ), мАч, не менее	5500
3.6. Напряжение АКБ ПДУ, В	3,6
4. Эргономические показатели	
4.1. Уровень звука звукового сигнала, дБА, не менее	70
5. Показатели транспортабельности	
5.1. Габаритные размеры, мм, не более:	
– длина	1100
– ширина	700
– высота	890
5.2. Масса, кг, не более	110

Созданный опытный образец проходил предварительные испытания в Академии ГПС МЧС России, где проверялась работоспособность узлов и механизмов, систем наблюдения и мониторинга, а также ходовые качества,

способность подачи огнетушащих веществ, тактические особенности, связанные с транспортировкой рукавной линии на расстояния и др. (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Проверка работоспособности МРУП при подаче огнетушащих веществ

Проведенные предварительные испытания позволили выявить ряд недостатков, которые были устранены при дальнейшей работе на МРУП.

Основными выявленными недостатками являлись:

– неправильная конструкция опорных катков, в результате чего происходило сползание гусеницы при поворотах и движении по лестничным маршам;

– превышение габаритных размеров по высоте;

– центр тяжести был смещен в заднюю часть МРУП, в результате чего при подаче огнетушащих веществ с максимальным расходом в 20 л/с и давлением перед стволом не менее 0,6 МПа происходил подъем передней части конструкции и заваливание ее назад.

Доработка МРУП позволила устранить все выявленные недостатки и приступить к приемо-сдаточным испытаниям на полигоне робототехники, находящемся во ВНИИПО МЧС России.

Для проведения испытаний и оценке заявленных характеристик МРУП был разработан испытательный комплекс, состоящий из специальных стендов (рисунок 4.5). На стендах проверялись ходовые качества МРУП на предмет продольного и поперечного опрокидывания, способности преодолевать препятствия высотой не менее 200 мм, способности движения при изменении углов наклона площадки, проверялись огнетушащие способности МРУП при тушении модельного очага пожара.



Рисунок 4.5 – Стенд для испытания ходовых качеств МРУП

Проведенные испытания позволили установить следующее:

- МРУП свободно преодолевает препятствия высотой до 200 мм, заезжая на платформу без опрокидывания и пробуксовывания;
- проверка продольной и поперечной устойчивости при углах 30° и 35° соответственно подтвердила хорошую устойчивость роботизированной установки;

– при движении по эстакаде, находящейся под углом 30° , опрокидывания МРУП не происходило;

– пульт дистанционного управления оставался работоспособным на расстоянии более 200 м, передача информации с приборов наблюдения и мониторинга осуществлялась без перебоев, отклики МРУП на команды, подаваемые с пульта дистанционного управления, были своевременные, сбоев в работы выявлено не было;

– максимальный расход огнетушащего вещества по воде при давлении перед стволом 0,6 МПа составил 21 л/с, что соответствовало заявленным характеристикам;

– максимальная дальность подачи огнетушащих веществ (по крайним каплям) составила 58 м;

– время тушения модельного очага составило 27 секунд (рисунок 4.6);

– тяговые усилия, создаваемые МРУП на асфальтированной поверхности, составили – 1000 Н;



Рисунок 4.6 – Тушение модельного очага МРУП

Проведенные испытания мобильной роботизированной установки пожаротушения позволили подчеркнуть ее соответствие заявленным в техническом задании требованиям. Первый опытный образец МРУП будет направлен на одну из действующих атомных станций, где будет эксплуатироваться.

Для эффективного применения МРУП при тушении пожаров, а также для отработки навыков его применения при проведении пожарно-тактических занятий и учений, необходимо разработать тактические приемы его использования.



Рисунок 4.7 – Мобильная роботизированная установка пожаротушения

При разработке тактических приемов следует учесть и возможности робототехнического средства №2, конструкция которого полностью проработана, и в дальнейшем планируется создание опытного образца.

Тактические приемы и методы предназначены для руководителей тушения пожара всех уровней, а также для личного состава пожарно-спасательных подразделений, эксплуатирующих разрабатываемую робототехнику пожаротушения, с целью разъяснения основ ее эффективного применения и для совершенствования навыков обслуживания и эксплуатации.

4.3 Тактические возможности РТС при тушении пожаров на объектах энергетики

Тушение пожара представляет собой сложный управленческий процесс, где координатором всех действий выступает руководитель тушения пожара, от принятых решений которого во многом зависит успех тушения. Ввиду того, что при тушении пожаров РТП и штабу тушения пожара приходится воспринимать и обрабатывать большое количество информации, то управление всеми видами сил

и средств на пожаре должно быть распределено между промежуточными звеньями с общим подчинением РТП.

В связи с этим при использовании мобильной робототехники при тушении пожаров создаются центры управления, которые обеспечивают координацию и контролируют выполнение всех действий робототехнических средств на пожаре.

Управление робототехническими средствами может быть централизованным и децентрализованным, схема представлена на рисунке 4.8 [137].

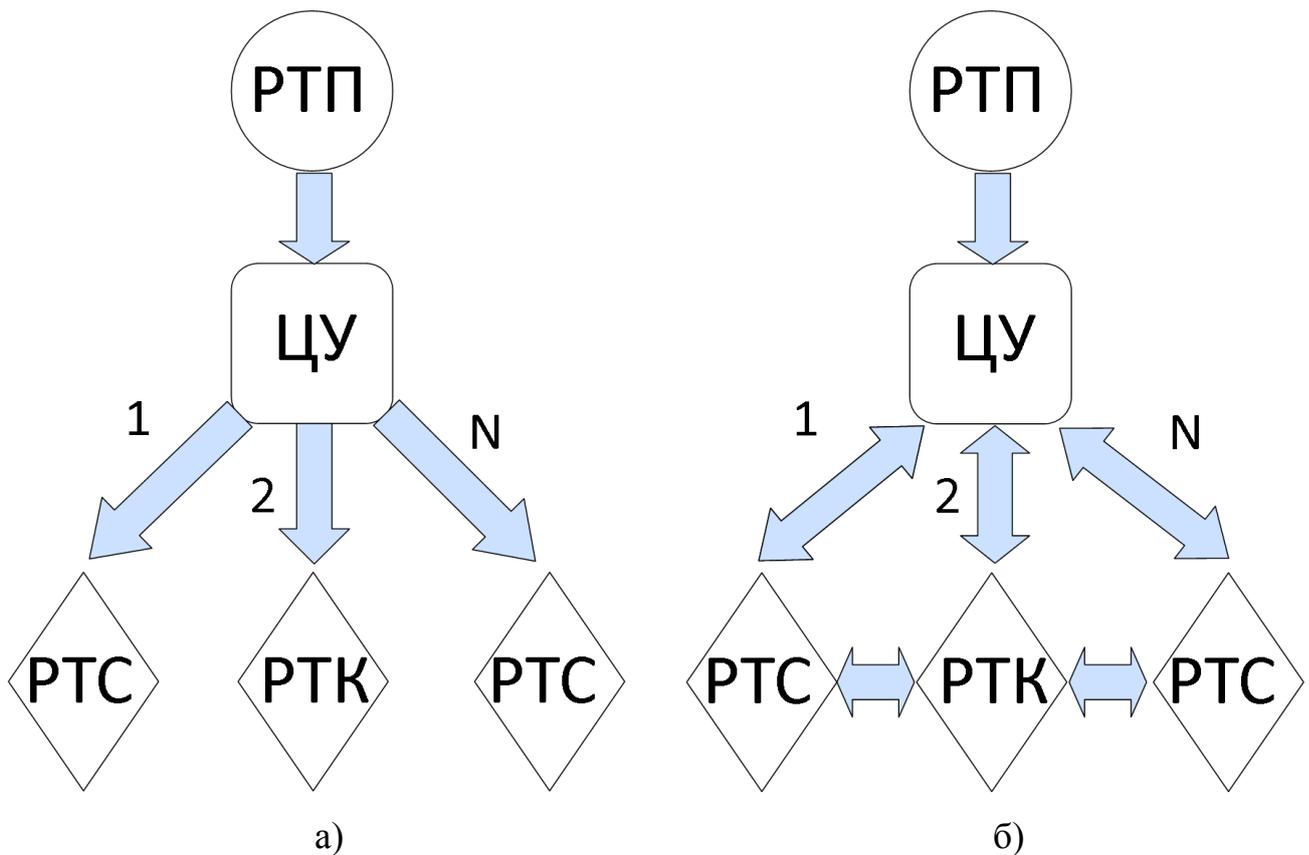


Рисунок 4.8 – Виды управления робототехническими средствами при тушении пожаров: а) централизованное; б) децентрализованное

При централизованном управлении робототехнические средства выполняют команды операторов, центры управления обеспечивают передачу информации от операторов к робототехническим средствам, а также используются при постановке целевой задачи.

Децентрализованное управление подразумевает обмен информацией не только РТС с оператором и центром управления, но и между собой в случае изменения обстановки. Это условие хорошо согласуется, если РТС, действуя по определенному алгоритму, может скорректировать план своих действий. Но на сегодняшний день, при тушении пожаров чаще всего применяется централизованное управление мобильной робототехникой, где алгоритм действий задается оператором при анализе поступающей информации со средств наблюдения и мониторинга. Для эффективного управления РТС оператор должен владеть информацией о тактических и технических возможностях эксплуатируемой техники.

Тактические возможности мобильной роботизированной установки пожаротушения подразумевают проведение разведки пожара и подачи огнетушащих веществ на тушение. Рассмотрим тактические особенности МРУП при проведении разведки.

Разведка пожара начинается с момента поступления сигнала о пожаре на пульт диспетчера пожарной части. В условиях объекта энергетики, где в результате пожара в короткие сроки могут возникнуть условия, при которых создается угроза жизни и здоровью участников тушения пожара, разведка должна проводиться при помощи всех видов технических средств, одним из которых может являться МРУП.

При проведении разведки оператор, управляющий МРУП, должен выбирать наиболее оптимальные пути следования к очагу пожара. За счет наличия системы технического зрения, а также при помощи систем видеонаблюдения объекта и систем пожарной автоматики, область поиска очага должна быть максимально сужена. Зная предположительное место очага пожара, разведку при помощи МРУП следует проводить с подключенной рукавной линией, чтобы при обнаружении очага непосредственно осуществить подачу огнетушащих веществ, тем самым оптимизировав время подачи.

При проведении разведки пожара при помощи МРУП и поиске очага пожара следует использовать тепловизор, возможности которого позволяют

обнаружить скрытые очаги горения, по температурным полям определить наиболее прогретые конструкции и установить направление распространения горения.

После того как очаг обнаружен, осуществляется подача огнетушащих веществ на тушение пожара и защиту строительных конструкций.

В зависимости от типа горящего помещения будет зависеть и тактика применения МРУП. Так, при пожаре в машинных залах электростанций подача огнетушащих веществ может осуществляться на различных высотных отметках (рисунок 4.9) [138].

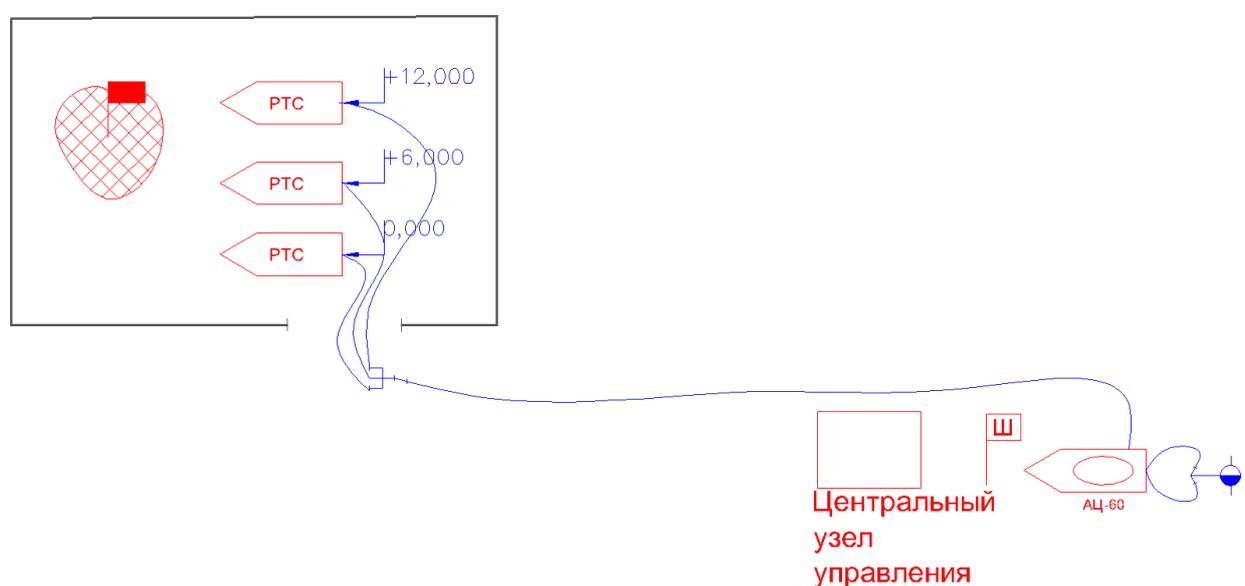


Рисунок 4.9 – Принципиальная схема подачи огнетушащих веществ в машинных залах электростанции

Подача огнетушащих веществ при помощи МРУП на нулевой отметке станции может осуществляться от передвижной пожарной техники, которая должна быть установлена на безопасном расстоянии от горящего объекта, а ввод МРУП с рукавной линией должен осуществляться через входные ворота машинного зала, при этом необходимо выбирать наиболее короткий маршрут движения МРУП к горящему объекту (рисунок 4.10).

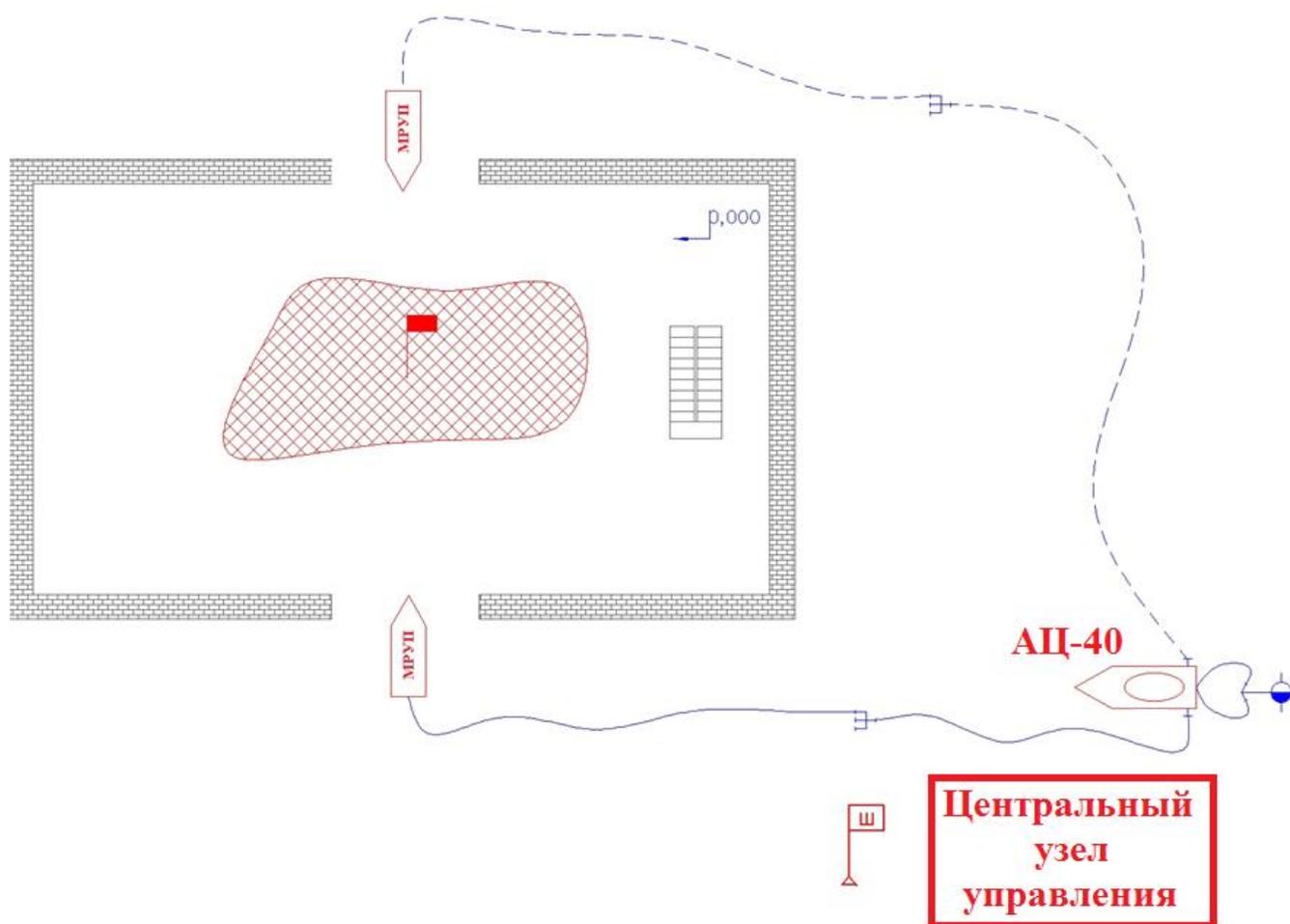


Рисунок 4.10 – Принципиальная схема подачи огнетушащих веществ в машинных залах на отметке станции + 0.00 м

Для подачи огнетушащих веществ с высотных отметок, отличных от нулевой, МРУП осуществляет движение по лестничным маршам и выходит на позицию, с которой будет осуществлять подачу огнетушащих веществ. Подача ОТВ может осуществляться как от передвижной пожарной техники, так и от внутреннего противопожарного водопровода (рисунок 4.11).

При подаче огнетушащих веществ оператор должен контролировать процесс тушения, управляя лафетным стволом для протушивания большей площади. Исходя из тактических соображений он может изменять вид струи, преобразуя ее из компактной в распыленную и наоборот.

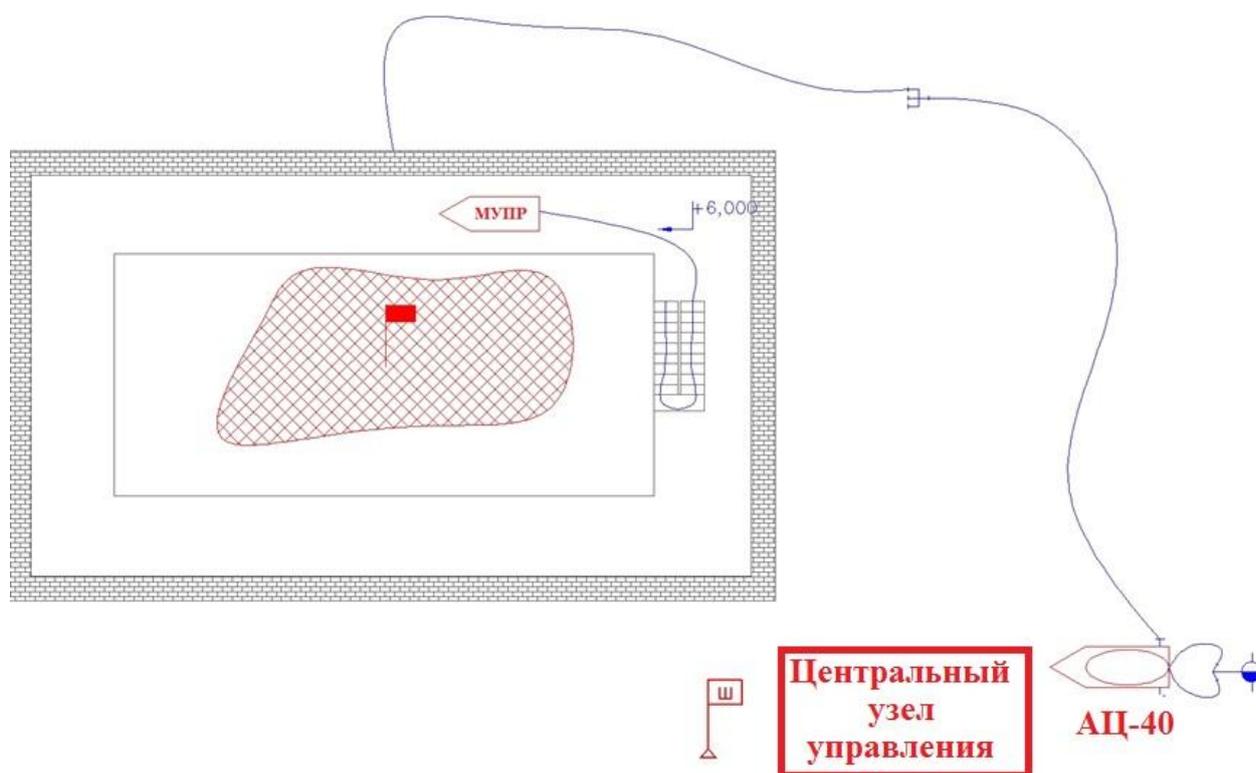


Рисунок 4.11 – Принципиальная схема подачи огнетушащих веществ в машинных залах на отметке станции + 6.00 м

Ввиду того, что МРУП имеет относительно небольшую массу (110 кг), доставка его на вышележащие отметки может быть осуществлена личным составом вручную, либо при помощи различных подъемных механизмов.

При образовании угроз взрыва, обрушения строительных конструкций или иных видов опасностей, применение МРУП следует планировать на наиболее опасных для личного состава участках. При защите металлических ферм покрытия машинных залов МРУП следует располагать на наивысшей отметке, чтобы обеспечить максимальную защиту строительных конструкций.

При тушении пожара следует постоянно проводить мониторинг обстановки при помощи средств, которыми оснащен МРУП.

Тушение пожаров электрооборудования при помощи МРУП должно производиться только на обесточенном электрооборудовании, при этом следует производить заземление насоса пожарного автомобиля. При тушении пожаров несколькими видами робототехники следует предусматривать часть робототехнических средств для тушения горящего электрооборудования, а часть—

для защиты соседнего с горящим электрооборудования (рисунок 4.12). МРУП в данном случае может быть применим в обоих случаях [138].

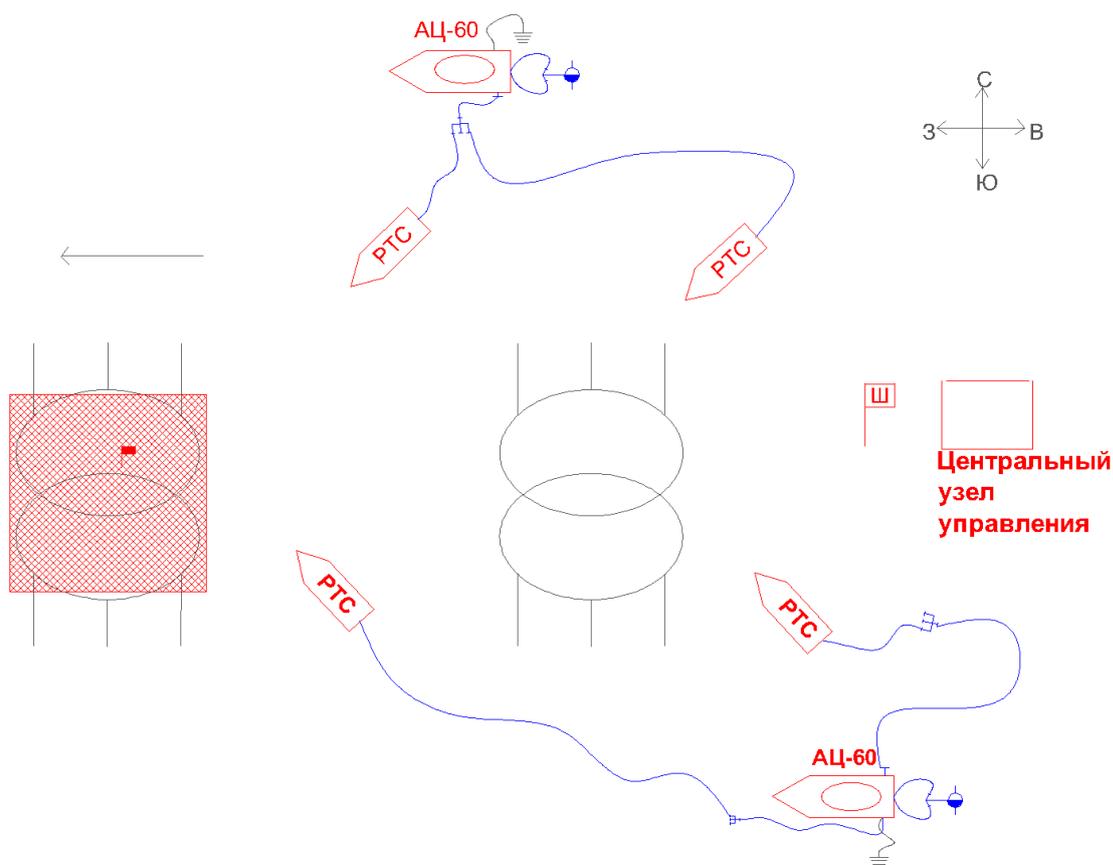


Рисунок 4.12 – Принципиальная схема подачи огнетушащих веществ при тушении трансформаторов

Наиболее эффективным методом применения МРУП являются ситуации, при которых МРУП находится в поле зрения оператора. Это условие позволяет оператору намного эффективнее управлять МРУП, что влияет на оперативность выполнения поставленных задач.

Обеспечение МРУП огнетушащими веществами является одной из важнейших задач, которые необходимо выполнять при тушении пожаров. Как правило, вопросы обеспечения мобильной робототехники огнетушащими веществами должны рассматриваться на этапе предварительного планирования, где и прорабатывается алгоритм действий, и разрабатываются методы подачи огнетушащих веществ.

Обеспечение робототехники огнетушащими веществами планируется в три этапа. На первом этапе осуществляется подача огнетушащих веществ от места их хранения до места проведения работ. Второй этап подразумевает доставку огнетушащих веществ непосредственно к РТС, а на третьем этапе происходит подача огнетушащих веществ на тушение пожара (рисунок 4.13) [137].

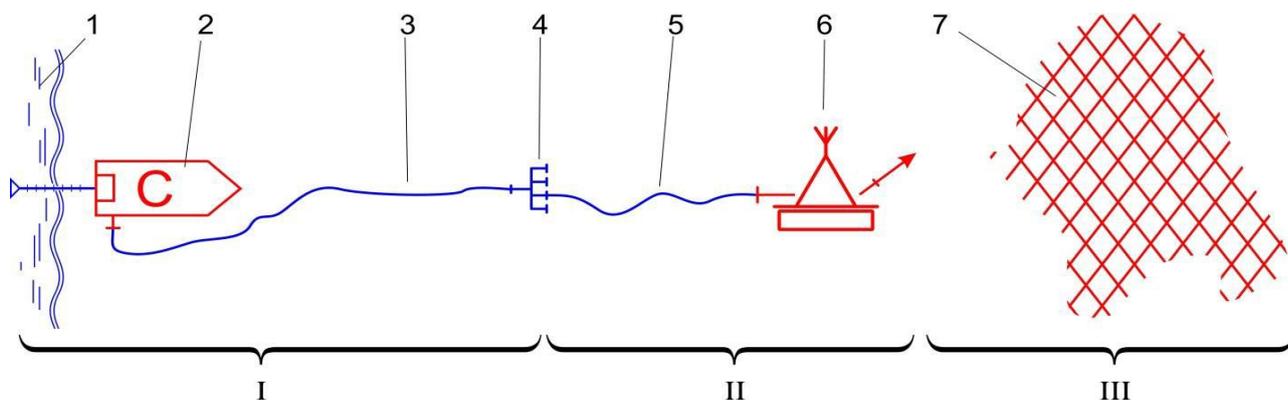


Рисунок 4.13 – Принципиальная схема обеспечения огнетушащими веществами робототехнических средств:

1 – водоисточник; 2 – насосная станция; 3 – магистральная линия; 4 – разветвление;
5 – рабочая рукавная линия; 6 – РТС; 7 – зона горения

I этап – Доставка ОТВ от водоисточника к месту пожара;

II этап – Доставка ОТВ к позициям РТС; III этап – Подача ОТВ в зону горения

Тактические особенности МРУП предполагают его применение от пожарной автоцистерны или пожарного автонасоса, при этом для сокращения значений потерь напора пожарный автомобиль должен как можно ближе располагаться к МРУП. Следовательно, при тушении пожаров на объектах энергетики, в зависимости от обстановки на пожаре, необходимо предусматривать подачу огнетушащих веществ в перекачку до пожарного автомобиля, от которого работает МРУП.

При подаче огнетушащего вещества в очаг пожара от внутреннего противопожарного водопровода необходимо задействовать в работу насосы-повысители и обеспечить необходимый напор в трубопроводе.

Наиболее рациональным методом подачи огнетушащих веществ при помощи МРУП является метод №3 приложения В, где при использовании

рукавной линии с диаметром условного прохода 80 мм, при номинальном напоре перед стволом 50 м.вод.ст., возможно осуществить подачу огнетушащих веществ с расходом 15 л/с на расстояние около 230 м по горизонтали.

Исходя из этого можно предположить, что при установке пожарного автомобиля непосредственно перед горящим зданием необходимо, в первую очередь, обеспечить бесперебойную подачу огнетушащих веществ, так как при расходе в 15 л/с собственного запаса огнетушащих веществ пожарной автоцистерны с емкостью 5000 л хватит не более чем на 5 мин.

Основным критерием, которым должен руководствоваться РТП, при выбранной схеме подачи огнетушащих веществ является предельное расстояние, которое с учетом кривизны и прочих погрешностей составляет около 230 м.

Предельная дальность подачи огнетушащих веществ очень важна, исходя из тактических соображений применения мобильной робототехники. В связи с этим рассмотрим тактические возможности МРУП, исходя из реальных условий. Для этого проанализируем по планам тушения пожара расположение объектов действующих атомных электростанций, различного предназначения, в зависимости от расположения водоисточников (таблицы 4.3-4.7).

Таблица 4.3 – Тактические данные при тушении некоторых объектов Смоленской АЭС

№	Место возникновения пожара	Площадь возможного пожара, $S_p, \text{м}^2$	Расстояние от водоисточника, м	Максимальный перепад высот относительно 0
1.	Трансформатор №32 2ТР	180	200	+2,0
2.	Кабельный полуэтаж БЩУ	75	200	+15,0
3.	Маслобак турбогенератора	170	240	0,0
4.	Кабельные помещения № 604/15	16	280	+24,0
5.	Кровля машинного зала	6900	220	+12,0
6.	ЦМХ	900	320	0,0
7.	ХОЯТ	200	200	-5,4
8.	Помещение маслохозяйства ГЦН	20	200	+2,0

Таблица 4.4 – Тактические данные при тушении некоторых объектов Билибинской АЭС

№	Место возникновения пожара	Площадь возможного пожара, $S_{п}$, м ²	Расстояние от водоисточника, м	Максимальный перепад высот относительно 0
1.	Машинный зал	900	120	+6,0
2.	Кабельные полуэтажи ЦТАИ	65	140	+6,0
3.	Камера трансформатора	90	220	0,0
4.	Кровля главного корпуса	800	100	+20,5
5.	Центральный материально-технический склад УПТК	200	160	0,0
6.	Открытый склад масла	65	160	+3,0
7.	Емкости дизельного топлива ЦТПК	35	50	0,0

Таблица 4.5 – Тактические данные при тушении некоторых объектов Ленинградской АЭС (зд. 601)

№	Место возникновения пожара	Площадь возможного пожара, $S_{п}$, м ²	Расстояние от водоисточника, м	Максимальный перепад высот относительно 0
1	Главный маслобак ГМБ ТГ-4 на блоке В в машзале зд.601	150	280	+9,6
2.	Помещение ГЦН блоков В-Г зд.601	175	260	0,0
3.	Кровля машзала блока Г зд.601	1000	260	+31,0
4.	Кабельные помещения блока Д	90	200	+7,3
5.	Пристанционный узел (соор.605) зд.601	165	100	0,0

Таблица 4.6 – Тактические данные при тушении некоторых объектов Ленинградской АЭС (зд. 401)

№	Место возникновения пожара	Площадь возможного пожара, $S_{п}$, м ²	Расстояние от водоисточника, м	Максимальный перепад высот относительно 0
1.	Главный маслобак ГМБ ТГ-3 на блоке В в машзале зд.401	300	240	+7,2
2.	Помещение ГЦН блоков В-Г зд.401	240	160	+19,2
3.	Кровля машзала блока В	1200	260	+30,0
4.	Кабельные помещения блока Д	50	220	+3,6
5.	Пристанционный узел (соор.403) зд.401	180	120	0,0

Таблица 4.7 – Тактические данные при тушении некоторых объектов Кольской АЭС

№	Место возникновения пожара	Площадь возможного пожара, $S_{п}$, м ²	Расстояние от водоисточника, м	Максимальный перепад высот относительно 0
1.	Машинный зал	850	200	+9,6
2.	Кабельные помещения	65	180	+3,6
3.	Аппаратное отделение	120	140	+3,6
4.	Трансформатор	165	160	+3,6
5.	Помещение РДЭС	250	120	+3,6
6.	Маслохозяйство	700	160	0,0

Исходя из анализа тактических данных можно предположить, что при тушении рассматриваемых пожаров потребуется подача большого количества огнетушащих веществ, на что и рассчитаны тактико-технические характеристики МРУП. При установке пожарного автомобиля, от которого работает МРУП, непосредственно на водоисточник, лишь в 75% случаев будет обеспечена подача огнетушащих веществ до объекта тушения (рисунок 4.14).

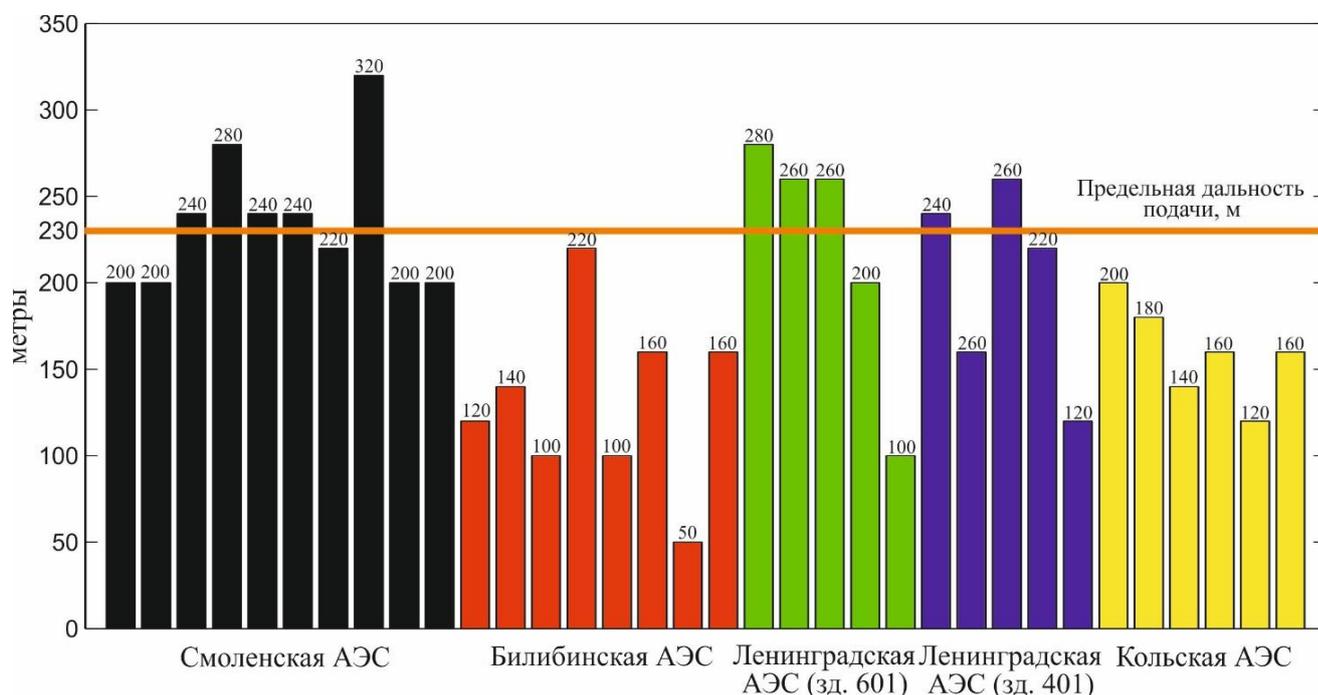


Рисунок 4.14 – Предельная дальность подачи огнетушащих веществ при помощи МРУП, оснащенного лафетным стволом

В связи с этим необходимо производить подачу огнетушащих веществ при помощи МРУП, исходя из складывающейся обстановки на пожаре, устанавливая автомобиль непосредственно у горящего здания.

Определенные тактические характеристики установок пожаротушения с гидроабразивной резкой позволяют произвести оценку тактических возможностей робототехнического средства №2. Ввиду того, что робототехническое средство №2 работает с рукавными линиями установки пожаротушения, установленной на пожарном автомобиле, то при тушении пожаров автомобиль необходимо также устанавливать на водоисточник. При применении РТС №2 при тушении пожаров на рассматриваемых объектах в 99% случаев будет обеспечена подача огнетушащих веществ как в режиме резки, так и при пожаротушении (рисунок 4.15).

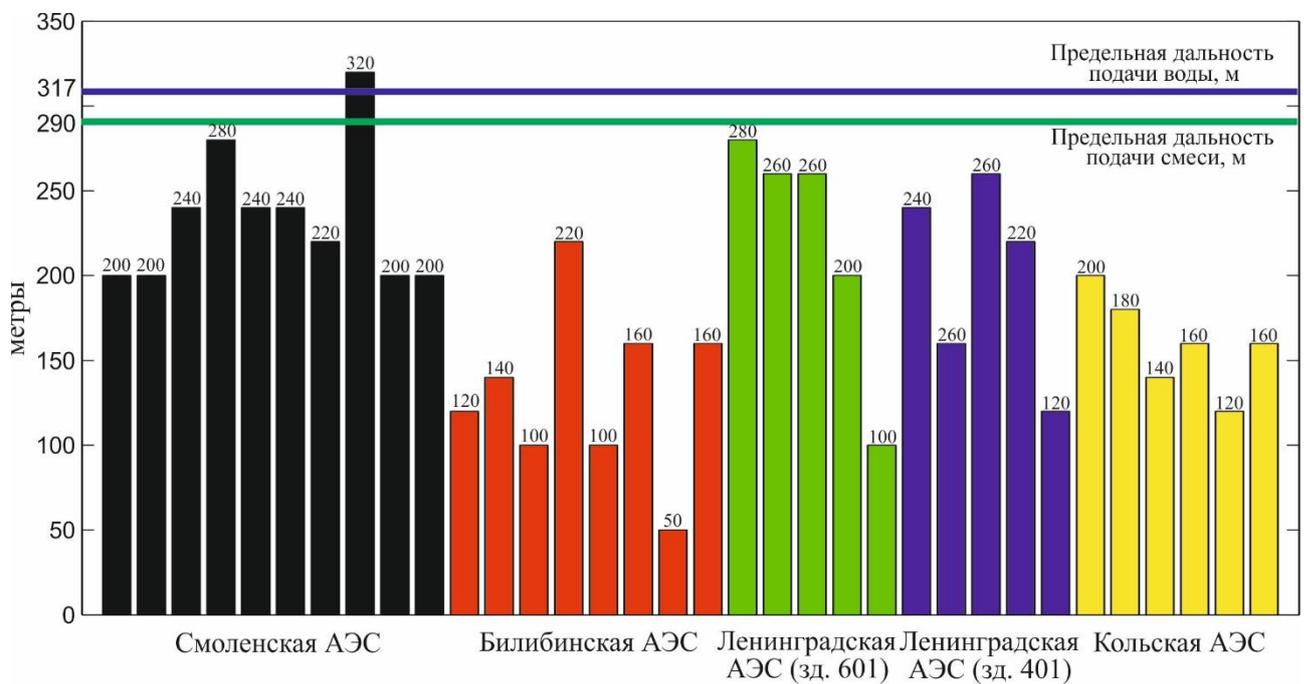


Рисунок 4.15 – Предельная дальность подачи огнетушащих веществ при помощи робототехнического средства, оснащенного стволом установки пожаротушения

Произведенная оценка тактических возможностей робототехнического комплекса показывает, что в преобладающем большинстве случаев РТК способен проводить действия по тушению пожаров от пожарного автомобиля, находящегося на водоисточнике объекта, что позволяет задействовать меньшее количество пожарной техники.

Рассмотренные основные тактические возможности разработанной робототехники являются лишь отправным источником информации для руководителя тушения пожара. Для более эффективного применения при тушении пожаров предлагаемого робототехнического комплекса, тактические приемы должны разрабатываться для каждого конкретного объекта в отдельности, учитывая расположение водоисточников, планировку объекта, расположение оборудования и размещение наиболее пожароопасных помещений на объекте.

4.4 Выводы по четвертой главе

1. В результате проведенных исследований были научно обоснованы и сформированы технические требования к конструкции робототехнического комплекса, разрабатываемого для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на объектах энергетики.

2. Сформированные технические требования позволили создать опытный образец робототехнического средства пожаротушения, предназначенного для проведения разведки и подачи огнетушащих веществ на тушение пожаров.

3. Для проверки РТС №1 на предмет соответствия заявленным требованиям были проведены испытания, в результате которых установлено, что тактико-технические характеристики соответствуют заявленным требованиям и находятся на высоком уровне.

4. Для разработанного РТС №1 были рассмотрены основные тактические приемы при его использовании для целей пожаротушения на объектах энергетики. Были оценены тактические возможности робототехнического комплекса при тушении пожаров на действующих объектах, которые показали его применимость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенного анализа пожаров и аварий, происходивших на объектах энергетики, была научно обоснована необходимость применения при тушении пожаров мобильной робототехники. Были сформированы требования к живучести и определен функционал для робототехнических средств пожаротушения, применяемых на объектах энергетики.

2. Проведенные исследования позволили обосновать огнетушащие составы и средства их подачи на объектах энергетики при применении мобильной робототехники пожаротушения.

3. По результатам проведенного эксперимента, по разработанной методике определены токи утечки по струе тонкораспыленной воды и смеси воды и абразива при подаче от установок пожаротушения с гидроабразивной резкой. Получены математические зависимости, позволяющие оценить безопасное расстояние при тушении электрооборудования под напряжением при применении установок пожаротушения с гидроабразивной резкой.

4. Для оценки тактических возможностей робототехнических средств при прокладке рукавных линий на объектах энергетики экспериментально были определены коэффициенты трения скольжения для пожарных напорных рукавов общего исполнения и различных диаметров условного прохода. В зависимости от исполнения поверхности они составили: наливной пол – 0,27, плитка – 0,36, асфальт – 0,58. Полученные данные были применены в модели для расчета возникающей силы трения, которую необходимо преодолевать при транспортировке рукавной линии.

5. Для проведения исследований был разработан измерительный комплекс, предназначенный для определения гидравлических характеристик систем пожаротушения с гидроабразивной резкой, который может работать в диапазоне измеряемых давлений от 0 до 40 МПа с водой и смесью жидкости и абразива.

6. Разработана методика и проведено экспериментальное исследование по оценке гидравлических параметров подачи огнетушащих веществ по рукавной

линии от установок пожаротушения с гидроабразивной резкой. Определен коэффициент гидравлического трения, который составил $\lambda^9 = 0,019$. С помощью приближенной методики были получены значения предельных длин подачи воды ($L_{\text{воды}} = 317$ метров) и смеси воды и абразива ($L_{\text{смеси}} = 290$ метров) установками пожаротушения с гидроабразивной резкой.

7. С учетом полученных данных была разработана концепция робототехнического комплекса, предназначенного для тушения пожаров на объектах энергетики. Разработан и создан опытный образец мобильной роботизированной установки пожаротушения.

8. Разработано методическое пособие по технологии применения робототехнических комплексов для пожаротушения на объектах атомной энергетики, и методические рекомендации по тактике применения установок пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об электроэнергетике [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ (ред. от 29.07.2017) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. дан. – М., 2017. – Доступ из лок-ной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 24.03.2018).
2. Микеев, А.К. Противопожарная служба в экстремальных условиях Чернобыля [Текст] / А.К. Микеев. – М.: ВНИИПО, 1999. – 210 с.
3. Микеев, А.К. Противопожарная защита АЭС [Текст] / А.К. Микеев. – М.: Энергоиздат, 1990. – 432 с.
4. Микеев, А.К. Пожары на радиационно-опасных объектах. Факты. Выводы. Рекомендации [Текст] / А.К. Микеев. – М.: ВНИИПО, 2000. – 346 с.
5. Алешков, М.В. Пожарная техника для ликвидации пожаров и аварий на объектах энергетики [Текст] / М.В. Алешков, О.В. Двоенко, И.А. Ольховский // Энергосбережение и водоподготовка. – 2012. – № 2. – С. 69–72.
6. Алешков, М.В. Технические средства подачи огнетушащих веществ для ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций на объектах энергетики [Текст] / М.В. Алешков, М.Д. Безбородько и др. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2012. – № 1. – С. 10–14.
7. Алешков, М.В. Формирование парка специальных машин для проведения операций повышенной сложности на критически важных объектах энергетики [Электронный ресурс] / М.В. Алешков, М.Д. Безбородько и др. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2012. – № 3 (43). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-3/23-03-12.ttb.pdf> (дата обращения 21.12.2017).
8. Лобанова, Н.А. Противопожарная защита систем безопасности новых АЭС [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Лобанова Нина Александровна. – М., 2006. – 209 с.
9. Ольховский, И.А. Технология применения рукавных систем с пропускной способностью более 100 л/с для тушения пожаров на объектах энергетики [Текст]:

дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Ольховский Иван Александрович. – М., 2014. – 145 с.

10. Двоенко, О.В. Насосно-рукавные системы пожарных автомобилей, обеспечивающие тушение пожаров и аварийное водоснабжение на объектах энергетики в условиях низких температур [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Двоенко Олег Викторович. – М., 2014. – 190 с.

11. Цариченко, С.Г. Развитие экстремальной робототехники в рамках инновационной деятельности МЧС России [Текст] / С.Г. Цариченко, В.П. Молчанов // Инновации. – № 9 (167). – 2012. – С. 10–12.

12. Цариченко, С.Г. Направления развития экстремальной робототехники МЧС России с учетом опыта практического применения [Текст] / С.Г. Цариченко // Экстремальная робототехника. – 2013. – № 1. – С. 21–24.

13. Цариченко, С.Г. Обоснование необходимости применения робототехнических средств для повышения тактических возможностей пожарных подразделений [Текст] / С.Г. Цариченко, А.Н. Денисов и др. // Пожарная безопасность. – 2014. – № 4. – С. 53–60.

14. Цариченко, С.Г. Экстремальная робототехника в МЧС России – задачи и перспективы [Текст] / С.Г. Цариченко // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. – 2012. – Том 28 – С. 97–105.

15. Цариченко, С.Г. Организация тушения крупных пожаров с совместным использованием робототехнических средств и технологий термовизуального мониторинга [Текст] / С.Г. Цариченко, Е.В. Павлов, К.С. Власов, А.В. Рожков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – № 3. – С. 31–36.

16. Тодосейчук, С.П. Научно-методические основы создания и применения робототехнических средств для решения задач МЧС России [Текст] / С.П. Тодосейчук, К.И. Самойлов, Н.Г. Климачева и др. / МЧС России. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. – 192 с.

17. Тодосейчук, С.П. Применение робототехнических средств при ликвидации радиационных аварий [Текст] / А.Ф. Батанов, С.П. Тодосейчук,

К.И. Самойлов // 30 лет во имя безопасности. Сб. научно-технических трудов. – М.: Голден-Би, 2006. – С. 213–220.

18. Тодосейчук, С.П. Эффективность применения и перспективы развития наземных робототехнических средств [Текст] / С.П. Тодосейчук, К.И. Самойлов, Н.Г. Климачева // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – Том 3. – С. 61–65.

19. Тодосейчук, С.П. Взаимодействие аварийно-спасательных формирований министерств и ведомств РСЧС при ликвидации радиационных аварий с применением робототехнических средств [Текст] / А.И. Запорожец, В.В. Овчинников, С.П. Тодосейчук, Г.А. Низовцев // Стратегии гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – Том 3. – № 1. – С. 296–303.

20. Тодосейчук, С.П. Научно-практические основы создания робототехнических средств для ликвидации чрезвычайных ситуаций [Текст] / К.И. Самойлов, С.П. Тодосейчук // 25 лет – от идей до технологий. Сб. научно-технических трудов. – М.: ВНИИ ГОЧС, 2001. – С. 246–256.

21. Спасательные робототехнические системы и технологии [Текст]: учебник: в 2 ч. / Н.В. Северов и др.; науч. ред. Н.В. Северов. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС РФ, 2012. – Ч. 1. – 379 с.

22. Спасательные робототехнические системы и технологии [Текст]: учебник: в 2 ч. / Н.В. Северов и др.; ред. Н.В. Северов. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС РФ, 2012. – Ч. 2. – 347 с.

23. Власов, К.С. Модели и алгоритмы поддержки управления тушением пожаров в резервуарных парках на основе применения робототехнических средств [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Власов Константин Сергеевич. – М., 2016. – 183 с.

24. Власов, К.С. Обоснование необходимости применения робототехнических средств для повышения тактических возможностей пожарных подразделений [Текст] / С.Г. Цариченко, А.Н. Денисов, К.С. Власов // Пожарная безопасность. – 2014. – № 4. – С. 53–60.

25. Власов, К.С. Перспективы применения наземных робототехнических средств на пожарах в условиях отрицательных температур [Текст] / К.С. Власов, А.А. Порошин, Е.В. Павлов, К.С. Павлов // Пожарная безопасность. – 2016. – № 1. – С. 116–121.

26. Власов, К.С. Методика оценки тактических возможностей робототехнических средств при тушении пожара [Электронный ресурс] / К.С. Власов, А.Н. Денисов, А.А. Порошин, С.В. Стебунов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 2 (66) – С. 225–230. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/16-02-16.ttb.pdf> (дата обращения 04.11.2017).

27. Родионова, И.А. Экономическая география [Текст] / И.А. Родионова, Т.М. Бунакова. – М., 1998. – 288 с.

28. Статистика [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации: сайт. – Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/activity/statistic> (дата обращения 15.04.2018).

29. Кудрявый, В.В. Энергетика работает с перенапряжением [Электронный ресурс] / В. В. Кудрявый // Новая газета. – 2009. – № 96. – Режим доступа: <http://www.novayagazeta.ru/politics/43738.html> (дата обращения 15.04.2018).

30. Рукин, М.В. Пожарная безопасность объектов энергоснабжения [Электронный ресурс] / М.В. Рукин // Сборник статей ведущих специалистов рынка систем безопасности: 1-е изд. – 2014. – С. 56–67. – Режим доступа: <https://www.egida-ross.ru/tekhpodderzhka/biblioteka-spetsialista/item/231-sbornik-statej-2014-vedushchikh-spetsialistov-rynka-vzryvozashchishchennykh-sistem-bezopasnosti> (дата обращения 12.09.2017).

31. Белов, В.В. Крупные аварии на ТЭС и их влияние на компоновочные решения главных корпусов [Текст] / В.В. Белов, Б.К. Пергаменщик // Вестник МГСУ. – 2013. – № 4. – С. 61–69.

32. Пожары и пожарная безопасность с 1997 по 2016 гг. [Текст]: статистические сборники. – М.: ВНИИПО, 1997–2017.

33. Авария в энергосистеме 25 мая 2005 в Москве [Электронный ресурс] / Википедия, свободная энциклопедия: сайт. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария в энергосистеме в Москве \(2005\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_в_энергосистеме_в_Москве_(2005)) (дата обращения 12.05.2016).

34. Основные характеристики российской электроэнергетики [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации: сайт. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения 15.06.2018).

35. Пожарная тактика [Текст]: учебник / М.М. Верзилин, Я. С. Повзик. – М.: ЗАО Спецтехника, 1999. – 411 с.

36. Томаков, М.В. Защита с помощью пожарных роботов металлических ферм машинных залов от воздействия высоких температур [Текст] / М.В. Томаков, В.И. Томаков, С.Л. Петрухин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. –2012. – №2-2. – С.170–176.

37. Горбань, Ю.И. Системы пожаротушения для защиты машинных залов ТЭЦ, АЭС и ГЭС: проблемы и решения [Текст] / Ю.И. Горбань, Е.А. Синельникова // Алгоритм безопасности. – 2011. – № 3. – С.32–36.

38. Пожар на Улан-Удэнской ТЭЦ-1 ОАО ТГК-14 [Электронный ресурс] / И. Полонская // Российская газета: интернет-портал. – Режим доступа <https://rg.ru/2008/02/12/ulan-ude.html> (дата обращения 25.09.2016).

39. Углегорская ТЭС [Электронный ресурс] / Википедия, свободная энциклопедия: сайт. – Режим доступа [https://ru.wikipedia.org/wiki/Углегорская ТЭС](https://ru.wikipedia.org/wiki/Углегорская_ТЭС) (дата обращения 25.09.2016).

40. Кашолкин, Б.И. Тушение пожаров в электроустановках решения [Текст] / Б.И. Кашолкин, Е.А. Мешалкин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 112 с.

41. Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы [Электронный ресурс]: приказ Минтруда России от 23 декабря 2014 г. № 1100н // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. дан. – М., 2016. – Доступ из лок-ной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 23.10.2017).

42. Тактика тушения электроустановок, находящихся под напряжением: Рекомендации [Текст]. – М.: ВНИИПО, 1986. – 17 с.

43. Типовая инструкция по тушению пожаров на электроустановках АЭС концерна «Росэнергоатом» [Текст]: утв. Минатом России от 16.10.2001 г. – М.: Концерн Росэнергоатом, 2001. – 11 с.

44. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожара [Текст] / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

45. Алешков, М.В. Особенности развития и тушения пожаров, возникающих по причине нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования [Текст] / М.В. Алешков, А.А. Колбасин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. – 2010. – № 3. – С. 54–57.

46. Оперативная информация [Электронный ресурс] // АО Концерн Росэнергоатом: сайт. – Режим доступа <http://www.rosenergoatom.ru> (дата обращения 23.08.2016).

47. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс]: распоряжение правительства от 13 ноября 2009 г. № 1715-р // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения).

48. *Becker, O. Four years after Fukushima: Are Nuclear Power Plants Safer? / O. Becker, P. Lorens // Critical Review of the Updated National Action Plans (NACP) of the EU Stress Tests on Nuclear Power Plants. – September 2015. – 49 p.*

49. Дятлов, А.С. Чернобыль. Как это было [Текст] / А.С. Дятлов. – М.: Научтехлитиздат, 2000. – 191 с.

50. Правила пожарной безопасности при эксплуатации атомных станций ППБ-АС-2011 (введены в действие приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 21.02.2012 №9/156-П) [Текст]: техническая документация. – М., 2011. – 137 с.

51. Межведомственная информационная система по вопросам обеспечения радиационной безопасности населения и проблемам преодоления последствий радиационных аварий [Электронный ресурс] // МЧС России: сайт. – Режим доступа: <http://rb.mchs.gov.ru/folder/8961> (дата обращения 13.04.2017).

52. Трагедию предотвратили пожарные [Электронный ресурс] / Л.Е. Поздеев // Областная газета: сайт. – Режим доступа <https://www.oblgazeta.ru/politics/28525/> (дата обращения 13.04.2017).

53. ГОСТ Р 53326–2009. Техника пожарная. Установки пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытания [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. дан. – М., 2017. – Доступ из лок-ной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 14.06.2017).

54. Гобань, Ю.И. Стационарные роботизированные установки пожаротушения для защиты высокопролетных сооружений [Текст] / Ю.И. Гобань, М.Ю. Гобань, С.Г. Цариченко, Е.А. Синельникова // Пожарная безопасность – 2007. – № 1. – С. 105–109.

55. Цариченко, С.Г. Стационарные роботизированные комплексы пожаротушения как составная часть автоматических установок пожаротушения [Текст] / С.Г. Цариченко, Е.А. Синельникова // Алгоритм безопасности. – 2007. – № 5. – С. 56–58.

56. Гобань, Ю.И. Пожарные роботы в современных технологиях автоматического пожаротушения [Текст] / Ю.И. Гобань, Е.А. Синельникова // Алгоритм безопасности. – 2010. – № 3. – С. 66–71.

57. Жаров, А.С. Современное решение задач водопенного пожаротушения [Текст] / А.С. Жаров, Л.А. Мотин, Д.Ю. Калямин // Пожарная безопасность в строительстве – 2009. – № 2. – С. 53–57.

58. Концепция развития робототехнических комплексов (систем) специального назначения в системе МЧС России до 2030 года [Текст]: Решение коллегии МЧС России от 10.08.2016 № 16/Ш. – М.: МЧС России, 2016.

59. Юревич, Е. И. Роботы ЦНИИ РТК на Чернобыльской АЭС и развитие экстремальной робототехники [Текст] / Е. И. Юревич. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. – 264 с.

60. ЧАЭС: Робот и робототехника на ликвидации аварии [Электронный ресурс] // Чернобыль, Припять, Чернобыльская АЭС и зона отчуждения: сайт. – Режим доступа: <http://chornobyl.in.ua/robot.html> (дата обращения 13.09.2016).

61. Развитие, технология и эффективность применения робототехники в чрезвычайных ситуациях. Ч. 1–4. [Текст]: монография / Под общ. ред. Н.В. Северова. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2010. – 702 с.

62. Радиационные аварии. ВНИИЭФ, г. Саров (Арзамас-16), 17 июня 1997 г. [Электронный ресурс] // Радиационная безопасность населения Российской Федерации: сайт. – Режим доступа: [http://rb.mchs.gov.ru/mchs/radiation accidents/m other accidents/1997 god/VNIIEF](http://rb.mchs.gov.ru/mchs/radiation%20accidents/m%20other%20accidents/1997%20god/VNIIEF) (дата обращения 14.09.2016).

63. Разработка методических рекомендаций по применению в подразделениях МЧС России робототехнических средств при проведении аварийно-спасательных работ и пожаротушения [Текст]: отчёт о научно-исследовательской работе. – М.: ВНИИПО, 2013. – 55 с.

64. Гусев, И.А. Применение робототехнических комплексов для тушения пожаров на объектах энергетики / И.А. Гусев, М.В. Алешков и др. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – № 1. – С. 48–53.

65. Технологии применения робототехнических средств для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ [Текст]: учеб. пособие / А.В. Матюшин, С.Г. Цариченко, А.А. Порошин и др. – М.: ВНИИПО. – 2016. – 88 с.

66. ГОСТ Р 54344–2011. Техника пожарная. Мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]: государственный стандарт – М.: Стандартинформ, 2012. – 32 с.

67. Гусев, И.А. Обоснование требований к мобильной робототехнике пожаротушения, применяемой на объектах атомной энергетики [Текст] / И.А. Гусев // Мат-лы VI Международной науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов: Проблемы техносферной безопасности – 2017. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 27–33.

68. Баратов, А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения [Текст] / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – 496 с.

69. Навценя, Н.В. Исследования электропроводности огнетушащих струй и рекомендации по электробезопасности людей при тушении электроустановок / Н.В. Навценя, Н.В. Исавин, И.Ф. Поединцев, О.М. Курбатский // Пожарная профилактика в электроустановках: Сб. тр. – М.: ВНИИПО, 1979. – С. 52–62.

70. Артюнов, С.Н. Организация тушения пожаров электроустановок под напряжением / С.Н. Артюнов, А.Е. Сычев, С.А. Муратов // Теоретические и экспериментальные основы пожаротушения: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1992. – С. 56–63.

71. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]: государственный стандарт. – М.: Госстандарт России. – 2001.

72. Буланов, К. Выбор огнетушащего вещества для защиты особо ценных объектов / К. Буланов // Алгоритм безопасности. – 2012. – № 5. – С. 36–38.

73. Лукьянов, В.Г. Использование и внедрение воздушно-механических пен с помощью пеногенераторов для пылеподавления при бурении шпуров [Текст] / В.Г. Лукьянов, В.А. Шмурыгин, В.С. Забуга // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 1. – С. 1–4.

74. Колбасин, А.А. Нормирование требований к средствам тушения электрооборудования под напряжением на объектах энергетики [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Колбасин Андрей Александрович. – М., 2012. – 152 с.

75. Копылов, С.Н. Определение безопасных расстояний при тушении электроустановок, находящихся под напряжением [Текст] / С.Н. Копылов, В.А. Кушук, Е.В. Баранов // Пожарная безопасность: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 2008. – С. 52–62.

76. Алешков, М.В. Применение сплошных водяных струй при тушении электроустановок под напряжением на объектах атомной энергетики [Текст] /

М.В. Алешков, Р.А. Емельянов, А.А. Колбасин, В.Д. Федяев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2014. – № 4 – С. 17–23.

77. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс]: приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24 июля 2013 г. №328н // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 08.06.2016).

78. ГОСТ 12.1.038–82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1) [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 12.06.2016).

79. НПБ 88–2001. Установки пожаротушения и сигнализации [Текст]: Нормы и правила проектирования. – М.: ВНИИПО, 2001. – 54 с.

80. Мешалкин, Е.А. Состояние и перспективы разработок изделий для тушения пожаров тонкораспыленной водой [Текст] / Е.А. Мешалкин, П.М. Шевченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – № 1. – С. 68–75.

81. Карпышев, А.В. Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты атомных станций [Текст] / А.В. Карпышев, А.Л. Душкин, И.С. Глухов, М.Д. Сегаль / Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2006. – № 5. – С. 34–44.

82. Гергель, В.И. Пожаротушение тонкораспыленной водой высокого давления [Текст] / В.И. Гергель, Е.А. Мешалкин // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – № 3. – С. 45–49.

83. Павлов, А. Опыт использования модульных установок пожаротушения тонкораспыленной водой для защиты объектов различного назначения [Текст] / А. Павлов // Алгоритм безопасности. – 2008. – № 5. – С. 28–31.

84. СП 13.13130.2009. Атомные станции. Требования пожарной безопасности (с Изменением N 1) [Электронный вариант]: свод правил // Гарант:

инф.-прав. об-ние. – Эл. дан. – М., 2017. – Доступ из лок-ной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 16.10.2016).

85. Кожин, С. Тушение тонкораспыленной водой электрооборудования, находящегося под напряжением [Текст] / С. Кожин // Безопасность. Достоверность. Информация. – 2008. – № 79. – С. 46–47.

86. Физико-химические основы развития и тушения пожаров [Текст]: учеб. пособие / С.А. Бобков, А.В. Бабурин, П.В. Комраков. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – 210 с.

87. Процессы горения [Текст]: учеб. пособие / И.М. Абдурагимов, А.С. Андросов, Л.К. Исаева, Е.В. Крылов. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1984. – 269 с.

88. Гусев, И.А. Обеспечение технологии пожаротушения в замкнутых объемах помещений объектов энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков // Мат-лы 26-й Междунар. науч.-практ. конф.: Системы безопасности – 2017. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 176–179.

89. *Gsell, J., Assessment of fire suppression capabilities of water mist – Fighting Compartment Fires with the Cutting Extinguisher, University of Ullster, 2010, 138 p.*

90. Методические рекомендации по тактике применения автомобилей, оборудованных установками пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки [Текст]. – М.: ГУ МЧС России по г. Москве, 2017. – 133 с.

91. *Cutting extinguisher concept - practical and operational use / Sodra Alvsborg Fire & Rescue Services with SP Technical Research Institute of Sweden, Boras, 2010.*

92. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. дан. – М., 2017. – Доступ из лок-ной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 26.11.2016).

93. Аппарат испытания диэлектриков «АИД-70М». Руководство по эксплуатации 2 АМБ.169.001.РЭ [Текст]. – М.: ООО СКБ Медрентех, 2007. – 24 с.

94. ГОСТ Р 8.736–2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [Текст]: государственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2013. – 20 с.

95. Воскобойников, Ю.Е. Решение задач экономики в EXCEL [Текст] / Ю.Е. Воскобойников, Т.Н. Воскобойникова. – Новосибирск: Новосибирский филиал Санкт-Петербургской Академии управления и экономики, 2006. – 216 с.

96. Гусев, И.А. Применение установок пожаротушения с системами гидроабразивной резки на объектах атомной энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.Д. Безбородько, М.В. Алешков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – № 4. – С. 7–12.

97. Гусев, И.А. Определение рабочих параметров установок пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки, применяемых на объектах энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – №10 – С. 69–76.

98. Гусев, И.А. Обоснование требований к мобильной робототехнике пожаротушения, применяемой на объектах энергетики [Текст] / И.А. Гусев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 3. – С. 21–27.

99. ГОСТ Р 51049–2008. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 24.02.2017).

100. Крагельский, И.В. Трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский. Изд. 2-е доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

101. Мышкин, Н.К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические положения трибологии [Текст] / Н.К. Мышкин, М.И. Петровец. – М.: Физматлит, 2007. – 368 с.

102. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) [Текст] / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

103. Бухин, В.Е. Полимерные материалы для узлов трения: Технология, организация производства и управления, обзорная информация [Текст] / В.Е. Бухин. – М.: НИИЭинформэнергомаш, 1987. – Вып. 15. – 35 с.

104. Нгуен Ван Тху Совершенствование эксплуатации пожарных напорных рукавов в СРВ [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Нгуен Ван Тху. – Москва, 1984. – 224 с.

105. Боуден, Ф.П. Трение и смазка твердых тел [Текст] / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор. – М.: Машиностроение, 1968. – 543 с.

106. Кузнецов, В.Д. Наросты при трении и резании [Текст] / В.Д. Кузнецов. – М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1956. – 284 с.

107. ГОСТ 7502–98 Рулетки измерительные металлические. Технические условия [Текст]: государственный стандарт. – Минск: Стандартиформ, 1998. – 11 с.

108. Стахеев, М.В. Оценка чувствительности утвержденных методик расчета пожарных рисков к неопределенности (погрешности) расчетных характеристик [Текст] / М.В. Стахеев, Г.А. Черкасский, М.З. Максимова, Е.В. Кононенко, Е. П. Воробьева // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. – № 1. – С. 9–14.

109. Абросимов, Ю.Г. Гидравлика [Текст]: учебник / Ю.Г. Абросимов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 312 с.

110. Френкель, Н.З. Гидравлика [Текст]: учебник / Н.З. Френкель. – М.: Машиностроение, 1956. – 453 с.

111. Чугаев, Р.Р. Гидравлика [Текст]: учебник. – 6 изд., репринтное. – М.: Издательский дом «БАСТЕТ», 2013. – 672 с.

112. Яковчук, В.И. Крупные пожары: Предупреждение и тушение [Текст] / В.И. Яковчук // Мат-лы 16-й науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2001. – С. 354–356.

113. Съцебура, Т. Исследование гидравлических сопротивлений в пожарных напорных рукавах из синтетических материалов и область их применения [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Съцебура Тадеуш. – М., 1978 – 283 с.

114. Хоанг Зань Бинь Гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов и его снижение при введении в поток воды геля полиакриламида при тушении пожаров на объектах энергетики [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Хоанг Зань Бинь. – М., 2011. – 248 с.

115. Тарасов-Агалаков, Н.А. Гидравлика рукавов [Текст] / Н.А. Тарасов-Агалаков // Научно-технический сборник ЦНИИПО. – № 3 (5). – 1941.

116. Абросимов, Ю.Г. Исследование линейного коэффициента гидравлического сопротивления пожарных рукавов [Текст] / Ю.Г. Абросимов, В.В. Жучков // Мат-лы 13-й науч.-техн. конф.: Системы безопасности – 2004. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – С. 43.

117. Яковчук, В.И. Определение гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов [Текст] / В.И. Яковчук // Научное обеспечение пожарной безопасности. – 1999. – № 7. – С. 50–51.

118. Яковчук, В.И. Потери напора в пожарных рукавах [Текст] / В.И. Яковчук, Э.И. Михневич // Водное хозяйство и гидротехническое строительство: Республ. межвед. сб. науч. тр. Вып. 21. – 2000. – С. 143–146.

119. Безбородько, М.Д. Пожарная техника [Текст]: учебник / М.Д. Безбородько. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – 550 с.

120. Храмцов, С.П. Технические средства подачи температурно-активированной воды автомобилем пожарным многоцелевым [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Храмцов Сергей Петрович. – М.: 2009. – 277 с.

121. *Large diameter hose – on the fireground. Harvey Harold. «Fire Fight. Can.». 1988. T.4.*

122. *Choosing hoselines for initial attack. Calif. Fire. Serv. 1990. – pp. 12–13. T. 10.*

123. Гусев, И.А. Проведение гидравлических испытаний пожарных рукавов диаметром 150 мм [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков и др. // Сб. статей по мат-

лам IV Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием в 2-х частях. Часть 1. – Воронеж: Воронежский институт ГПС МЧС России, 2015. – С. 203–207.

124. Уоллис, Г. Одномерные двухфазные течения [Текст] / Г. Уоллис. – М.: Мир, 1972. – 440 с.

125. Зуйков, А.Л. Гидравлика. Том 2. Напорные и открытые потоки. Гидравлика сооружений [Текст]: учебник / А.Л. Зуйков, Л.В. Волгина. – М.: МГСУ, 2015. – 424 с.

126. Юфин, А.П. Гидравлика. Гидравлические машины и гидропривод [Текст]: учебник / А.П. Юфин. – М.: Высшая школа, 1965. – 427 с.

127. Регистратор многоканальный технологический РМТ 59. Формуляр НКГЖ.411124.002ФО. НПП «Элемер». – М., 2008.– 135 с.

128. ГОСТ 166–89. Штангенциркули. Технические условия [Текст]: государственный стандарт. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 19 с.

129. Сертифицированный набор программ для вычислений свойств воды и водяного пара, газов и смесей газов «WaterSteamPro» ТМ (версия 6.0) [Электронный ресурс] / А.А. Александров, А.В. Очков, К.А. Орлов, В.Ф. Очков // WaterSteamPro: сайт программы. – Режим доступа: <http://www.wsp.ru> (дата обращения 14.04.2018).

130. Тарасов, В.К. Движение двухфазных сред и гидротранспорт [Текст]: учеб. пособие; / В.К. Тарасов, Л.Н. Гусак, Л.В. Волгина. – М.: Министерство образования и науки Российской Федерации, МГСУ, 2012. – 92 с.

131. ГОСТ 15150–69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2017. Доступ из локальной сети библиотеки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 25.04.2018).

132. Р 50.2.038–2004 Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результатов измерений [Текст]. – М: Стандартиформ, 2011 – 11 с.

133. МИ 2083–90 Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 11 с.

134. О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс]: федеральный закон от 29 июля 2017 г. № 244-ФЗ // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. дан. – М., 2017. – Доступ из лок-ной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 05.05.2018).

135. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382 // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. дан. – М., 2017. – Доступ из лок-ной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 05.05.2018).

136. Гусев, И.А. Обоснование технических решений мобильной робототехники для тушения пожаров на объектах энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков // Мат-лы 26-й Междунар. науч.-практ. конф.: Системы безопасности – 2017. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 172–175.

137. Методические рекомендации по тактике применения наземных робототехнических средств при тушении пожаров [Текст]. – М.: МЧС России, ВНИИПО, 2015. – 38 с.

138. Пособие по технологии применения робототехнических комплексов для пожаротушения на объектах атомной энергетики [Текст]: метод. пособие / И.А. Гусев, М.В. Савин, И.А. Пеньков, М.В. Алешков. – М.: ВНИИПО, 2017. – 82 с.

Приложение А
(обязательное)

ДАННЫЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗНАЧЕНИЙ ТОКА УТЕЧКИ ПРИ
ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

L, м	U, кВ	вода	смесь воды и абразива
1	2	3	4
0,5 метра	10кВ	309,4; 310,2; 311,5; 310,4; 309,6; 311,4; 312,5; 311,6; 311,9; 312,0; 310,9; 309,6; 311,5; 312,4; 311,4; 309,6; 308,9; 310,5; 311,2; 309,6; 310,1; 309,8; 310,6; 311,2; 309,5; 307,9; 309,6; 310,4; 312,0; 309,7; 310,5; 311,3; 309,9; 310,5; 312,3; 313,0; 312,4; 311,6; 313,4; 310,5; 311,1; 312,4; 313,0; 312,6; 311,9; 310,2; 309,8; 308,9; 311,9; 310,6; 309,5; 312,5; 311,4; 310,5; 309,9; 311,2; 311,8; 312,5; 309,5; 311,6; 310,6; 311,4; 313,5; 312,8; 310,8; 309,8; 311,4; 312,6; 309,6; 310,8; 311,2; 313,5; 310,9; 312,7; 315,6; 310,4; 308,6; 309,9; 310,8; 311,7; 312,9; 311,6; 310,8; 311,2; 312,5; 311,5; 312,4; 311,9; 309,6; 310,5; 312,3; 313,9; 312,5; 310,5; 309,6; 308,9; 310,5; 312,6; 311,6; 313,5; 312,5; 311,2; 310,4; 312,2; 312,6; 309,8; 311,5; 312,8; 313,4; 311,4; 310,9; 312,7; 315,6; 310,4;	109,6; 108,9; 110,5; 112,5; 111,4; 110,4; 111,4; 113,4; 110,4; 112,4; 110,8; 109,1; 108,4; 108,1; 107,9; 109,4; 108,6; 109,6; 110,8; 111,7; 112,5; 110,6; 109,5; 108,4; 109,7; 110,5; 111,3; 110,6; 112,4; 108,6; 109,7; 110,4; 108,9; 109,8; 110,2; 111,4; 112,5; 110,6; 111,4; 110,8; 112,3; 113,5; 111,3; 109,6; 108,4; 109,3; 109,9; 110,8; 109,3; 110,2; 109,4; 108,2; 109,4; 108,4; 109,2; 110,5; 111,6; 110,8; 109,6; 108,9; 110,6; 111,8; 112,7; 110,6; 111,6; 112,8; 110,7; 109,6; 108,9; 110,5; 111,6; 112,3; 110,5; 109,6; 111,5; 112,5; 111,4; 112,5; 110,6; 109,4; 108,9; 109,7; 111,6; 112,4; 111,4; 109,8; 110,9; 111,6; 112,1; 111,4; 110,6; 111,5; 112,2; 110,3; 109,2; 111,3; 110,2; 111,3; 110,2; 109,3; 108,6; 109,8; 110,3; 111,4; 110,8; 110,2; 109,4; 108,5; 107,3; 106,7; 109,2; 110,5; 111,6; 110,8
	20кВ	567,9; 568,8; 570,9; 572,4; 571,4; 572,4; 571,3; 569,5; 568,4; 569,8; 570,9; 571,8; 572,5; 571,4; 572,3; 570,6; 568,8; 569,5; 571,8; 573,6; 571,5; 572,3; 570,2; 568,8; 569,9; 571,2; 572,3; 573,4; 571,4; 570,5; 572,6; 570,3; 571,3; 572,3; 570,6; 569,9; 568,3; 570,3; 572,2; 569,5; 573,2; 571,4; 569,9; 567,5; 569,3; 570,4; 572,5; 571,4; 569,3; 567,5; 569,8; 570,6; 572,4; 573,4; 571,3; 569,8; 571,2; 573,2; 568,5; 569,2; 570,4; 572,5; 571,4; 569,3; 567,5; 572,6; 570,3; 571,3; 572,3; 570,6; 571,3; 573,5; 571,2; 570,3; 569,6; 568,4; 569,9; 572,4; 572,9; 573,2; 572,1; 571,4; 570,2; 569,8; 568,4; 568,9; 569,3; 570,5; 571,4; 572,6; 573,2; 571,5; 572,5; 571,3; 573,2; 572,2; 572,9; 573,3; 571,2; 570,2; 569,1; 568,6; 570,4; 571,2; 572,3; 571,2; 572,4; 573,1; 572,3; 570,1; 573,2; 571,5; 572,5; 571,3;	368,4; 369,9; 371,4; 372,6; 371,2; 373,4; 371,2; 369,4; 371,4; 368,3; 371,5; 372,2; 374,2; 369,3; 371,2; 373,1; 371,3; 369,5; 371,5; 374,1; 373,3; 373,6; 371,5; 369,5; 370,4; 371,4; 372,3; 374,2; 371,6; 370,6; 368,4; 369,4; 371,2; 372,7; 370,6; 369,2; 368,9; 370,5; 371,1; 371,9; 372,4; 373,8; 374,5; 371,2; 372,5; 371,2; 373,4; 372,1; 371,4; 372,3; 371,1; 370,6; 369,6; 368,9; 369,9; 370,6; 371,4; 372,9; 370,2; 369,2; 368,2; 368,4; 370,6; 372,6; 371,3; 372,3; 371,4; 370,4; 369,6; 368,2; 369,4; 370,4; 368,6; 369,9; 370,6; 372,6; 373,2; 371,4; 370,6; 369,2; 368,1; 369,7; 370,3; 372,4; 374,0; 373,1; 371,2; 370,1; 369,2; 368,2; 370,2; 372,1; 373,2; 370,2; 371,4; 370,6; 369,5; 370,6; 371,5; 372,6; 373,4; 371,5; 369,2; 371,4; 372,4; 370,1; 368,2; 371,2; 370,3; 372,4; 368,6; 369,9; 370,6; 372,6

L, м	U, кВ	вода	смесь воды и абразива
1	2	3	4
	30 кВ	968,4; 969,8; 970,8; 373,2; 972,4; 972,3; 971,3; 968,6; 969,4; 970,4; 969,3; 971,2; 972,4; 969,9; 971,5; 969,5; 971,9; 972,1; 971,3; 972,6; 969,3; 970,4; 972,3; 971,2; 970,2; 972,4; 969,3; 971,4; 972,3; 973,2; 971,2; 970,8; 972,5; 970,3; 971,5; 972,5; 971,5; 973,4; 974,4; 973,2; 970,2; 971,2; 972,3; 971,2; 972,3; 970,3; 971,2; 969,6; 970,9; 971,2; 972,3; 973,2; 971,5; 970,4; 972,1; 971,2; 970,6; 971,3; 969,2; 970,8; 971,2; 972,5; 971,4; 973,6; 971,9; 970,2; 968,6; 971,2; 970,9; 971,2; 972,3; 973,4; 970,3; 969,8; 968,2; 970,5; 971,5; 972,3; 971,3; 969,3; 968,3; 969,4; 970,5; 971,3; 972,3; 971,4; 970,6; 971,3; 973,6; 972,1; 971,2; 969,3; 972,4; 969,3; 970,4; 972,4; 971,4; 972,5; 970,4; 971,5; 969,9; 971,4; 972,1; 972,9; 971,4; 972,3; 970,9; 971,4; 972,8; 973,8; 972,6; 973,5; 971,6; 970,3; 969,8; 970,8; 971,5; 972,4; 973,1; 971,6; 972,3; 974,5; 972,4; 971,6; 972,4; 971,4; 972,4; 970,6; 972,5; 969,8; 971,2; 973,5; 971,6; 969,8; 971,5; 970,4; 972,3; 971,4; 972,6; 971,2; 969,8; 970,8; 971,5; 972,4	608,3; 609,8; 611,4; 612,4; 611,4; 609,4; 608,4; 610,4; 611,4; 612,4; 608,4; 609,4; 610,4; 612,4; 613,4; 610,4; 608,9; 609,7; 610,4; 611,4; 613,4; 609,4; 608,4; 609,4; 610,5; 611,4; 612,5; 610,4; 609,4; 609,4; 610,5; 611,4; 612,4; 610,9; 609,4; 608,9; 609,7; 610,1; 610,9; 612,3; 612,1; 610,2; 609,8; 611,4; 610,5; 612,5; 611,4; 610,4; 611,9; 610,4; 609,1; 611,5; 612,5; 610,9; 609,8; 608,2; 609,4; 610,5; 611,5; 612,4; 611,9; 610,6; 609,8; 608,4; 610,8; 611,2; 612,5; 613,4; 611,4; 609,5; 608,5; 609,4; 610,4; 611,4; 612,5; 609,4; 610,4; 611,5; 612,4; 610,8; 609,8; 608,4; 609,4; 611,5; 610,4; 611,5; 612,4; 610,6; 611,4; 612,5; 610,6; 611,4; 612,8; 611,1; 610,3; 609,4; 608,9; 610,5; 609,7; 610,5; 612,8; 611,2; 613,2; 609,2; 610,3; 611,2; 609,5; 611,4; 612,5; 610,4; 609,4; 608,4; 610,4; 611,4; 612,4; 610,6; 611,4; 609,4; 610,9; 611,4; 609,6; 610,4; 612,4; 610,4; 611,9; 612,4; 611,2; 609,8; 608,9; 610,6; 612,4; 611,2; 610,1; 609,2; 611,4; 612,1; 610,0; 609,1; 610,3; 611,2; 609,6; 610,4; 612,4; 610,4;
1 метр	10кВ	65,4; 67,4; 68,9; 66,7; 67,6; 67,5; 69,0; 66,8; 67,6; 64,6; 66,2; 67,9; 69,2; 68,0; 66,4; 67,3; 68,4; 69,1; 66,3; 67,3; 67,5; 69,7; 66,9; 67,4; 65,9; 66,3; 65,3; 67,3; 68,5; 67,7; 66,9; 67,1; 67,7; 65,3; 66,3; 67,9; 66,8; 65,9; 67,4; 66,9; 69,2; 67,3; 65,2; 66,3; 66,4; 67,4; 68,9; 67,7; 67,6; 66,5; 66,2; 67,7; 66,6; 67,3; 68,1; 66,4; 67,3; 67,2; 66,7; 65,8; 66,3; 67,7; 66,8; 67,1; 66,8; 65,9; 66,2; 67,0; 67,4; 68,3; 69,1; 66,3; 67,3; 67,5; 66,8; 67,6; 64,6; 69,7; 66,9; 67,4; 65,9; 66,3; 65,3; 67,3; 68,5; 67,7; 66,9; 67,1; 67,7; 65,3; 66,3;	46,7; 47,6; 46,8; 45,7; 47,9; 46,8; 45,9; 46,3; 48,3; 47,1; 46,5; 45,5; 44,3; 46,4; 47,9; 46,9; 45,0; 46,2; 45,4; 47,3; 46,7; 47,6; 48,6; 47,1; 46,5; 44,6; 46,6; 47,3; 46,1; 45,8; 47,0; 46,3; 47,2; 46,6; 45,7; 46,3; 47,4; 46,5; 45,4; 46,0; 45,8; 46,6; 47,7; 46,4; 45,6; 47,2; 46,6; 45,8; 46,2; 47,3; 46,1; 45,8; 46,3; 47,5; 46,2; 45,5; 47,4; 46,6; 45,9; 46,5; 45,9; 46,5; 45,0; 46,2; 45,8; 46,8; 46,5; 48,0; 47,1; 46,6; 45,7; 46,6; 47,0; 46,3; 46,3; 47,4; 46,5; 45,6; 47,2; 46,6; 45,8; 46,2; 47,3; 46,1; 45,8; 46,3; 47,5; 46,2; 45,5; 47,9; 46,9;
	20кВ	110,7; 112,5; 113,4; 112,5; 113,2; 112,9; 111,6; 110,9; 112,0; 113,1; 112,7; 111,4; 112,1; 113,2; 111,7; 110,6; 112,5; 113,7; 111,6; 112,2; 113,6; 113,8; 113,2; 112,8; 113,2; 112,4; 112,0; 111,7; 112,4; 113,4; 114,0; 113,6; 112,7; 113,2; 112,9; 113,2; 112,7; 113,0; 112,3; 111,8; 112,6; 111,4; 112,4; 112,9; 111,3; 111,6; 112,3; 111,6; 110,6; 111,1; 112,6; 111,4; 112,3; 113,4; 112,7; 113,6; 114,1; 112,5; 111,4; 112,7; 111,6; 112,7; 113,1; 113,7; 114,0; 112,6; 113,5; 112,4; 111,3; 112,4; 113,1; 112,7; 112,2; 111,4; 111,9; 112,1; 113,7; 113,0;	88,8; 89,7; 92,9; 91,3; 89,0; 88,2; 90,0; 89,1; 88,5; 89,9; 91,5; 92,1; 90,7; 89,7; 90,4; 91,3; 92,7; 91,4; 90,6; 91,0; 89,2; 88,4; 89,7; 91,5; 90,8; 89,0; 90,6; 91,9; 92,3; 91,2; 90,0; 89,6; 90,9; 91,2; 91,7; 90,5; 88,3; 90,4; 91,2; 92,2; 90,8; 91,2; 89,6; 90,4; 88,4; 91,5; 90,9; 92,3; 91,7; 89,8; 90,1; 88,1; 89,2; 90,6; 91,9; 90,6; 91,7; 92,4; 91,0; 89,2; 90,3; 91,4; 89,0; 90,8; 89,0; 90,6; 91,9; 90,5; 88,3; 90,4; 91,2; 91,3; 92,7; 91,4; 90,6; 91,0; 89,2; 90,6; 91,9; 90,6; 89,8; 90,1; 88,1; 89,2; 90,6; 91,3; 89,0; 88,2; 90,0; 91,7; 92,4;

L, м	U, кВ	вода	смесь воды и абразива
1	2	3	4
		111,9; 112,4; 113,4; 112,9; 111,5; 112,0; 111,6; 112,3; 113,0; 111,8; 112,3; 111,6; 112,4; 112,9; 113,8; 112,3; 111,1; 110,0; 111,6; 112,6; 113,4; 112,7; 111,8; 112,7; 113,6; 112,7; 113,5; 114,0; 113,2; 112,9; 112,3; 113,0; 112,7; 111,5; 112,1; 111,0; 111,9; 110,4; 111,1; 112,3; 112,6; 113,8; 112,3; 113,0; 112,6; 111,7; 112,4; 113,3;	91,0; 89,2; 90,3; 91,4; 90,5; 88,3; 90,4; 91,2; 92,2; 92,7; 91,4; 90,6; 91,0; 89,2; 91,7; 92,4; 91,0; 89,2; 91,2; 92,2; 90,8; 91,2; 91,2; 91,3; 92,7; 91,4; 90,6; 91,2; 91,3; 92,7; 91,4; 89,8; 90,1; 88,1; 89,2; 91,0; 89,2; 90,3; 91,4; 90,5; 88,3; 89,0; 90,6; 91,9; 90,5; 88,3; 90,4; 89,8; 90,1; 88,1; 89,2; 90,6; 92,7; 91,4; 90,6; 91,0;
	30 кВ	269,4; 276,1; 280,0; 281,0; 279,9; 282,7; 281,5; 279,9; 276,5; 278,8; 280,5; 282,7; 281,1; 279,1; 282,1; 283,1; 281,8; 280,7; 281,9; 279,9; 280,3; 278,3; 279,7; 281,6; 279,0; 281,6; 282,7; 283,2; 281,8; 279,6; 278,8; 280,0; 281,2; 279,2; 281,7; 280,5; 283,5; 281,4; 279,0; 278,1; 279,2; 281,4; 282,7; 279,5; 280,4; 279,0; 281,9; 282,6; 281,9; 279,1; 278,5; 279,2; 282,9; 281,4; 280,5; 279,8; 282,1; 283,2; 281,3; 279,7; 278,4; 279,2; 281,4; 280,1; 279,0; 277,0; 279,9; 280,9; 279,4; 281,2; 280,6; 279,4; 278,1; 280,5; 282,2; 281,6; 280,7; 279,5; 278,8; 280,1; 282,0; 281,3; 279,7; 281,1; 282,5; 283,3; 281,7; 279,1; 280,9; 278,1; 279,7; 280,1; 281,2; 282,5; 279,4; 278,5; 279,2; 283,6; 282,7; 281,5; 280,3; 278,3; 279,7; 281,6; 279,0; 281,6; 282,7; 283,2; 281,8; 279,6; 278,5; 279,2; 282,9; 281,4; 280,5; 279,8; 282,1; 283,2; 281,3; 279,7; 278,4; 279,2; 281,4; 280,1; 279,0; 277,0; 279,9; 280,9; 279,4; 281,2; 280,6; 279,4; 278,1; 280,5; 282,2; 281,6; 280,7; 279,5; 278,8; 280,1; 278,5; 279,2; 282,9; 281,4; 280,5; 277,0; 279,9; 280,9; 279,4; 281,2; 279,4; 278,5; 279,2; 283,6; 282,7; 281,5; 279,8; 282,1; 283,2; 281,3; 280,6; 279,4; 278,1; 280,5; 282,2; 281,6; 280,7; 279,5;	188,4; 189,5; 191,6; 190,7; 189,8; 191,6; 190,7; 191,6; 190,2; 189,6; 188,3; 190,7; 191,6; 189,9; 190,7; 189,9; 188,3; 190,8; 189,9; 191,4; 190,9; 192,2; 191,8; 190,3; 189,9; 190,9; 189,7; 190,6; 189,1; 190,8; 191,6; 190,8; 189,6; 190,5; 191,9; 189,2; 190,4; 188,1; 190,2; 191,5; 192,5; 191,2; 190,5; 189,1; 188,9; 190,5; 192,7; 191,0; 192,5; 190,1; 189,6; 190,8; 188,1; 190,7; 189,0; 190,6; 189,9; 191,1; 192,6; 190,4; 191,3; 189,9; 188,3; 189,6; 191,7; 189,0; 191,7; 190,9; 189,9; 191,3; 190,5; 191,7; 190,0; 191,5; 189,3; 191,9; 190,2; 191,4; 190,3; 189,8; 190,6; 189,2; 191,1; 190,8; 189,9; 191,5; 190,5; 188,8; 190,9; 191,9; 189,3; 190,4; 191,2; 189,6; 188,4; 191,4; 190,5; 189,6; 191,1; 190,1; 188,1; 190,7; 189,0; 190,6; 189,9; 191,1; 192,6; 190,4; 191,3; 189,9; 188,3; 189,6; 191,7; 189,0; 191,7; 190,9; 189,9; 191,3; 190,5; 191,7; 188,3; 189,6; 191,7; 189,0; 191,7; 190,9; 189,9; 191,3; 190,5; 191,7; 190,0; 191,5; 189,3; 190,2; 191,5; 192,5; 191,2; 190,5; 189,1; 188,9; 190,5; 189,3; 191,9; 190,2; 191,4; 190,3; 189,8; 190,6; 189,2; 191,1; 190,8; 189,9; 191,5; 190,5; 188,8; 190,9; 191,9; 189,9; 191,3; 190,5; 191,7; 190,0; 191,5; 189,3; 191,9; 190,2; 191,4; 190,6;
2 метр	10кВ	56,4; 57,4; 56,3; 57,9; 59,0; 58,1; 59,5; 57,4; 60,5; 61,2; 59,3; 58,1; 58,3; 57,2; 58,1; 59,2; 58,4; 60,1; 59,0; 58,9; 59,5; 58,4; 57,0; 58,7; 59,1; 58,1; 57,4; 58,4; 59,4; 60,1; 59,2; 58,3; 57,2; 58,9; 59,1; 58,9; 59,1; 58,2; 57,4; 57,1; 58,0; 59,1; 58,5; 57,3; 56,9; 57,4; 58,1; 57,5; 58,4; 59,5; 58,1; 57,1; 58,4; 57,4; 58,4; 57,9; 57,0; 58,1; 57,4; 58,3; 58,3; 57,2; 58,9; 59,1; 58,9; 59,1; 58,2; 57,4; 57,1; 58,0; 59,1; 58,5; 57,3; 56,9; 57,4; 60,1; 59,0; 58,9; 59,5; 58,4; 57,0; 58,7; 59,1; 58,1	37,1; 38,9; 39,8; 38,6; 40,9; 39,1; 38,3; 39,4; 40,0; 39,2; 38,3; 39,4; 38,2; 37,1; 38,0; 39,4; 38,2; 39,1; 38,6; 37,3; 38,2; 39,0; 39,6; 38,2; 39,2; 38,3; 37,1; 38,2; 39,6; 38,5; 38,0; 39,7; 38,2; 37,7; 38,2; 39,4; 38,6; 39,2; 38,2; 37,9; 38,5; 39,0; 38,6; 39,2; 38,2; 37,8; 38,7; 39,3; 38,4; 39,3; 38,6; 37,3; 38,2; 39,0; 39,6; 38,2; 39,2; 38,3; 37,1; 38,2; 39,6; 38,5; 38,0; 39,7; 38,0; 39,7; 38,2; 37,7; 38,2; 39,4; 38,6; 39,2; 39,4; 38,2; 39,1; 38,6; 37,3; 38,2; 39,0; 39,6; 39,2; 38,3; 39,4; 38,2;

L, м	U, кВ	вода	смесь воды и абразива
1	2	3	4
	20кВ	66,3; 69,2; 72,4; 73,5; 71,8; 72,1; 70,8; 69,9; 72,5; 73,2; 71,1; 72,0; 73,6; 72,4; 70,2; 72,3; 73,7; 71,9; 72,6; 71,2; 73,1; 71,9; 72,6; 72,2; 71,2; 73,6; 72,2; 72,9; 73,1; 72,8; 71,1; 72,7; 71,6; 73,1; 72,6; 71,3; 72,8; 70,7; 71,2; 72,3; 73,4; 71,5; 72,1; 73,2; 72,4; 71,6; 72,3; 70,4; 71,1; 73,4; 71,4; 72,2; 71,9; 72,1; 72,9; 71,8; 73,1; 72,9; 73,3; 72,0; 71,1; 72,2; 73,3; 72,0; 71,3; 72,0; 73,3; 71,5; 72,6; 71,2	54,6; 55,9; 56,0; 55,9; 57,9; 56,2; 55,3; 54,6; 54,0; 53,6; 53,1; 53,4; 52,9; 53,5; 52,8; 53,0; 52,4; 52,3; 53,5; 54,4; 54,8; 55,5; 55,8; 55,7; 55,2; 54,9; 55,2; 55,6; 55,9; 55,1; 54,9; 55,1; 55,4; 55,5; 55,2; 55,3; 55,2; 55,6; 55,1; 55,2; 55,6; 55,5; 55,0; 55,3; 55,4; 54,8; 55,2; 55,3; 55,1; 54,5; 55,0; 54,9; 55,4; 55,2; 55,2; 55,0; 55,3; 56,7; 57,8; 58,3; 56,1; 55,6; 57,0; 55,7; 56,1; 55,3; 55,2; 55,6; 55,1; 55,2;
	30 кВ	102,4; 104,5; 108,4; 110,6; 112,7; 111,8; 110,7; 112,4; 113,7; 112,9; 110,5; 109,6; 111,5; 110,3; 109,4; 108,2; 110,7; 111,9; 110,5; 109,9; 111,7; 112,0; 110,9; 109,7; 111,8; 112,0; 111,3; 112,6; 113,1; 112,2; 111,5; 112,9; 110,3; 109,5; 110,9; 111,8; 112,9; 111,8; 109,6; 110,9; 112,0; 113,7; 112,8; 110,6; 111,5; 112,2; 110,6; 111,4; 112,2; 110,6; 109,2; 111,5; 112,1; 113,3; 111,1; 112,8; 114,0; 112,3; 113,0; 112,2; 111,1; 109,3; 110,4; 111,7; 110,2; 109,4; 111,0; 112,4; 111,0; 113,1; 110,9; 109,2; 111,0; 110,8; 108,1; 111,2; 110,0; 112,7; 111,9; 112,2; 113,1; 111,3; 110,7; 111,2; 109,6; 110,1; 111,2; 113,0; 112,2; 111,1; 109,3; 110,4; 111,7; 110,2; 109,4; 111,0; 112,4; 111,0; 113,1; 110,9; 110,6; 111,4; 110,0; 112,7; 111,9; 112,2; 113,1; 111,3; 110,7; 111,2; 109,6; 110,1; 111,2; 113,0;	72,2; 71,4; 73,3; 74,2; 72,3; 73,1; 71,4; 70,2; 71,7; 70,5; 71,6; 72,4; 73,4; 71,9; 72,4; 73,4; 72,4; 71,4; 73,7; 72,2; 71,7; 70,9; 72,8; 71,4; 74,6; 72,6; 73,4; 72,5; 73,5; 72,6; 71,8; 72,8; 73,5; 74,6; 73,4; 71,5; 71,9; 74,5; 72,5; 71,7; 72,4; 71,5; 70,5; 74,8; 72,6; 70,8; 71,4; 72,8; 73,2; 72,6; 72,6; 73,4; 72,5; 73,5; 72,6; 73,8; 72,8; 73,5; 74,6; 73,4; 72,8; 73,5; 74,6; 73,4; 71,5; 71,9; 74,5; 72,5; 71,7; 72,4; 71,5; 70,5; 74,8; 72,6; 70,8; 71,7; 72,4; 71,5; 70,5; 74,8; 72,6; 70,8; 71,4; 73,4; 72,4; 71,4; 73,7; 72,2; 71,7; 70,9; 72,8; 71,4; 74,6; 72,6; 73,4; 72,5; 73,5; 72,6; 71,8; 72,4; 71,4; 73,7; 72,2; 71,7; 70,9; 72,8; 71,4; 74,6; 72,6; 73,4; 72,5; 73,5; 72,6; 71,8; 72,8; 74,6; 72,6; 73,4; 72,5; 73,5; 72,6; 71,8; 72,8; 73,5; 74,6; 73,4; 71,5; 71,9; 74,5; 72,5; 73,5; 74,6; 73,4;
3 метр	10кВ	48,8; 50,4; 51,2; 52,3; 50,6; 51,3; 49,4; 50,2; 51,6; 50,3; 52,0; 51,7; 50,3; 51,1; 53,0; 52,1; 50,9; 49,0; 51,9; 52,2; 53,3; 51,2; 52,4; 50,2; 51,3; 49,1; 52,3; 51,2; 50,0; 49,9; 52,0; 51,2; 50,0; 51,9; 52,8; 53,7; 52,8; 51,0; 49,9; 51,0; 52,9; 51,0; 49,9; 51,8; 52,9; 51,7; 50,8; 52,8; 51,7; 50,9; 51,7; 53,5; 52,6; 51,7; 52,2; 51,9; 52,3; 50,6; 51,9; 52,1; 52,0; 51,2; 50,0; 51,3; 49,1; 52,3; 51,2; 50,0; 49,9; 52,0; 51,2; 50,0; 51,9; 52,8; 53,7; 52,8; 51,0; 49,9; 51,0; 51,7; 50,8; 52,8; 51,7; 50,9; 51,7; 53,5; 52,6; 51,7; 52,2; 51,9; 52,3; 50,6; 51,9; 52,1; 52,0; 53,5; 52,6; 51,7; 52,2; 51,9; 52,3; 50,6; 51,9; 52,1; 51,0; 49,9; 51,0; 51,7; 50,8; 52,8; 51,7; 50,9; 51,7; 50,8; 52,8; 51,7; 50,9; 51,7; 53,5; 52,6; 52,0; 51,2; 50,0; 51,9; 52,8; 52,8;	31,6; 30,3; 31,6; 33,6; 32,0; 31,8; 32,5; 33,3; 31,2; 32,1; 30,2; 31,1; 32,0; 30,1; 31,7; 32,4; 33,2; 32,1; 31,4; 33,3; 31,7; 30,6; 31,6; 32,1; 31,5; 30,6; 32,6; 31,3; 33,7; 32,6; 31,6; 30,8; 31,7; 32,9; 30,8; 31,9; 30,3; 32,3; 33,6; 31,8; 32,2; 31,1; 32,4; 31,4; 30,2; 31,4; 32,2; 31,6; 30,5; 32,1; 31,7; 30,6; 31,6; 32,1; 33,5; 32,4; 33,2; 32,1; 31,4; 33,3; 31,6; 32,1; 31,5; 32,1; 31,4; 33,3; 31,7; 30,6; 31,6; 32,1; 31,5; 30,6; 32,6; 31,3; 33,7; 32,6; 31,6; 30,8; 30,8; 31,7; 32,9; 30,8; 31,9; 30,3; 32,3; 33,6; 31,8; 32,2; 31,1; 32,4; 31,4; 30,2; 31,4; 33,2; 32,1; 31,4; 33,3; 31,7; 30,6; 31,6; 32,1; 31,5; 31,5; 30,6; 32,6; 31,3; 33,7; 32,6; 31,6; 30,8; 31,3; 33,7; 32,6; 31,6; 30,8; 30,8; 31,7; 32,9; 31,4; 32,2; 31,6; 30,5; 32,1; 31,7; 30,6; 31,6;

L, м	U, кВ	вода	смесь воды и абразива
1	2	3	4
	20кВ	57,7; 58,6; 59,5; 60,4; 58,8; 59,3; 60,9; 59,1; 58,8; 59,0; 58,4; 57,2; 58,4; 59,0; 58,9; 59,9; 60,7; 59,0; 58,9; 59,6; 58,9; 59,3; 58,2; 59,2; 60,4; 59,0; 58,1; 58,9; 59,1; 58,0; 59,1; 60,0; 59,1; 58,2; 59,2; 58,1; 59,2; 58,9; 59,0; 59,2; 58,0; 59,0; 58,9; 59,0; 58,4; 60,5; 59,7; 58,9; 59,4; 59,1; 58,2; 59,2; 58,1; 59,2; 58,9; 59,0; 59,0; 58,1; 58,9; 59,1; 58,0; 59,1; 60,0; 59,1; 58,2; 59,0; 58,9; 59,6; 58,9; 59,3; 58,2; 59,2; 60,4; 59,1; 60,0; 59,1; 58,2; 59,2; 58,1; 59,2; 58,9; 59,0; 59,0; 58,1; 58,9; 59,1; 58,0; 59,1; 60,0; 59,1; 58,2; 59,2; 58,1; 59,2; 58,9; 59,0; 59,2; 58,0; 59,0; 58,9; 59,0; 59,2; 58,0; 59,0; 58,9; 59,0; 58,4; 59,1; 58,2; 59,2; 58,1; 59,2;	46,3; 47,4; 49,5; 48,3; 47,9; 46,2; 47,9; 48,1; 49,7; 47,5; 48,3; 49,1; 47,0; 48,8; 49,0; 47,2; 48,9; 46,4; 47,6; 48,3; 47,0; 48,2; 49,5; 47,6; 48,1; 46,9; 47,1; 48,8; 47,0; 46,3; 48,3; 47,7; 46,2; 47,6; 48,8; 47,7; 46,4; 47,5; 48,0; 49,1; 48,6; 47,4; 46,8; 48,0; 46,9; 47,0; 48,3; 46,8; 47,0; 48,4; 47,5; 46,3; 47,0; 48,2; 47,5; 46,2; 48,1; 48,4; 49,2; 48,3; 48,1; 46,9; 47,1; 48,8; 47,0; 46,3; 48,3; 47,7; 46,2; 47,6; 48,8; 47,7; 46,4; 47,5; 47,0; 48,3; 46,8; 47,0; 48,4; 47,5; 46,3; 47,0; 48,2; 47,0; 48,3; 46,8; 47,0; 48,4; 47,5; 46,3; 47,0; 48,2; 47,5; 46,2; 48,1; 48,4; 49,2; 48,3; 48,3; 47,7; 46,2; 47,6; 48,8; 47,7; 46,4; 47,5; 47,0; 47,0; 48,3; 46,8; 47,0; 48,4;
	30 кВ	75,4; 77,5; 78,5; 79,7; 77,6; 76,1; 78,1; 77,4; 76,5; 77,5; 78,2; 79,5; 77,6; 76,7; 78,6; 77,8; 76,2; 77,0; 78,6; 77,4; 76,6; 78,4; 77,4; 76,5; 77,8; 76,9; 77,4; 76,5; 77,4; 76,6; 78,8; 79,0; 78,5; 77,0; 76,9; 78,1; 77,9; 77,0; 76,0; 78,9; 77,4; 76,7; 77,8; 76,1; 77,1; 78,4; 76,4; 77,6; 78,5; 76,8; 77,8; 76,0; 77,6; 78,0; 77,2; 76,6; 77,1; 78,1; 77,4; 78,5; 79,0; 78,5; 77,0; 76,9; 78,1; 77,9; 77,0; 76,0; 78,9; 77,4; 76,7; 77,8; 76,1; 77,1; 78,4; 76,4; 77,6; 78,5; 76,8; 77,8; 76,0; 77,6; 78,0; 76,0; 78,9; 77,4; 76,7; 77,8; 76,1; 77,1; 78,4; 76,4; 77,6; 78,5; 76,8; 77,8; 76,0; 77,6; 78,5; 77,0; 76,9; 78,1; 77,9; 77,0; 76,0; 78,9; 77,4; 76,7; 77,8; 76,1; 77,1; 78,4; 76,4; 78,5; 76,8; 77,8; 76,0; 77,6; 78,5;	56,1; 57,2; 58,1; 59,0; 58,0; 57,4; 56,2; 57,0; 58,1; 57,3; 58,5; 59,4; 58,9; 57,0; 58,8; 58,1; 57,4; 56,0; 57,1; 58,8; 59,1; 58,5; 57,7; 58,3; 56,4; 57,6; 58,1; 56,9; 57,6; 58,2; 56,4; 57,6; 58,3; 57,4; 56,6; 58,7; 57,0; 58,5; 57,9; 56,3; 57,8; 58,9; 57,8; 59,0; 57,9; 58,3; 56,7; 57,4; 56,3; 58,0; 58,1; 57,4; 56,0; 57,1; 58,8; 56,4; 57,6; 58,3; 57,4; 56,6; 57,4; 56,0; 57,1; 58,8; 59,1; 58,5; 57,7; 58,3; 57,1; 58,8; 56,4; 57,6; 58,3; 57,4; 56,6; 57,4; 58,3; 56,7; 57,4; 56,3; 58,0; 58,1; 57,4; 56,0; 57,1; 57,7; 58,3; 57,1; 58,8; 56,4; 57,6; 58,3; 57,4; 57,4; 56,6; 57,4; 58,3; 56,7; 57,4; 56,3; 58,0; 57,4; 56,6; 57,4; 58,3; 56,7; 57,4; 56,3; 58,0; 56,6; 57,4; 58,3; 56,7; 57,4; 56,3; 58,0; 58,1; 57,4; 57,7;

Приложение Б
(обязательное)

ДАННЫЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ
ЗНАЧЕНИЙ СИЛЫ ТРЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Таблица 1 – Значения силы трения, полученные на асфальтированном покрытии

Диаметр условного прохода рукава, мм	Номер образца	Возникающая сила, Н				
		1	2	3	4	5
50	1	38	37	38	36	38
	2	36	38	37	38	37
	3	37	36	37	37	38
	4	37	39	37	36	37
	5	36	38	37	37	36
	1+2	76	75	76	74	77
	2+3	76	75	76	77	75
	4+5	77	76	75	75	76
	1–3	111	110	112	111	110
	1–4	149	151	152	150	151
1–5	186	184	185	186	185	
65	1	52	51	52	50	52
	2	51	50	53	52	51
	1+2	101	103	102	100	101
80	1	63	62	61	63	63
	2	63	63	62	62	64
	1+2	122	124	122	124	124

Таблица 2 – Значения силы трения, полученные на плиточном покрытии

Диаметр условного прохода рукава, мм	Номер образца	Возникающая сила, Н				
		1	2	3	4	5
50	1	21	24	23	25	23
	2	22	21	23	24	22
	3	22	24	22	23	25
	4	23	24	22	24	21
	5	23	22	25	23	24
	1+2	47	48	46	47	48
	2+3	48	49	47	49	47
	1–3	70	71	70	71	69
	1–4	93	95	93	94	93
	1–5	118	115	119	114	117
65	1	33	31	32	32	33
	2	31	33	32	31	33
	1+2	65	63	64	67	63
80	1	39	41	40	40	39
	2	38	39	40	38	40
	1+2	79	78	80	79	78

Таблица 3 – Значения силы трения, полученные на эпоксидном покрытии

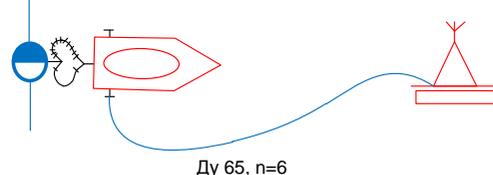
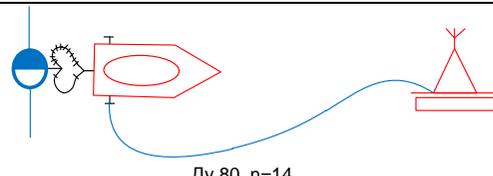
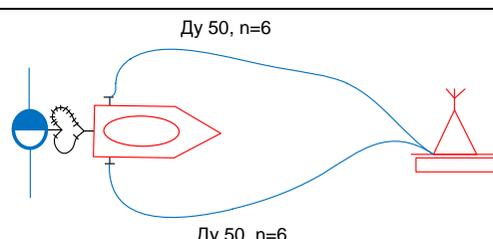
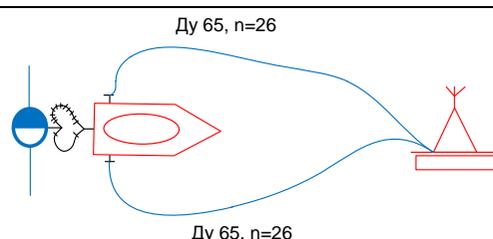
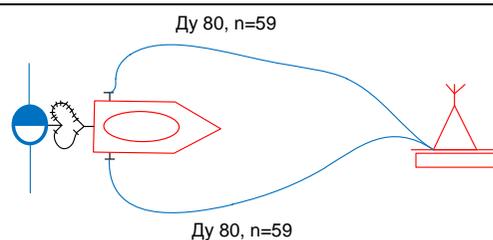
Диаметр условного прохода рукава, мм	Номер образца	Возникающая сила, Н				
		1	2	3	4	5
50	1	18	17	18	19	17
	2	18	19	19	18	16
	3	19	17	18	18	17
	4	17	19	17	16	18
	5	19	17	18	18	16
	1+2	34	33	36	34	35
	2+3	36	34	33	35	36
	1-3	52	54	49	52	51
	1-4	67	66	69	70	67
1-5	87	85	86	84	89	
65	1	25	26	24	25	27
	2	24	23	25	24	25
	1+2	47	52	48	51	49
80	1	30	27	31	29	30
	2	27	29	28	31	29
	1+2	61	58	59	62	61

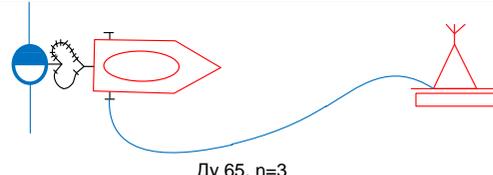
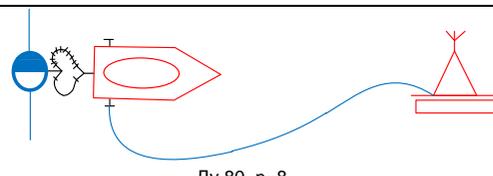
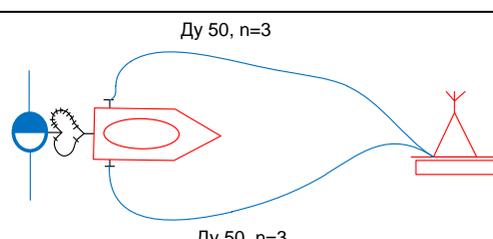
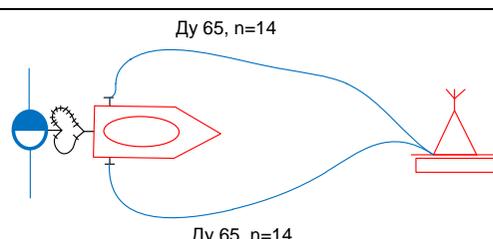
Таблица 4 – Значения силы трения, полученные при испытании МУПР

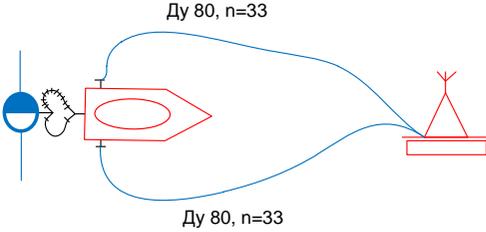
№	Возникающая сила, Н
Асфальт	
1	990
2	1000
3	986
4	993
5	998
Плитка в помещении пульта управления водонагревательным котлом:	
1	562
2	568
3	570
4	569
5	572
Плитка в административно-управленческих помещениях:	
1	550
2	548
3	549
4	554
5	551
Эпоксидное покрытие:	
1	618
2	622
3	619
4	620
5	623

Приложение В
(обязательное)

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
И СХЕМЫ ПОДАЧИ ОГнетушащих веществ

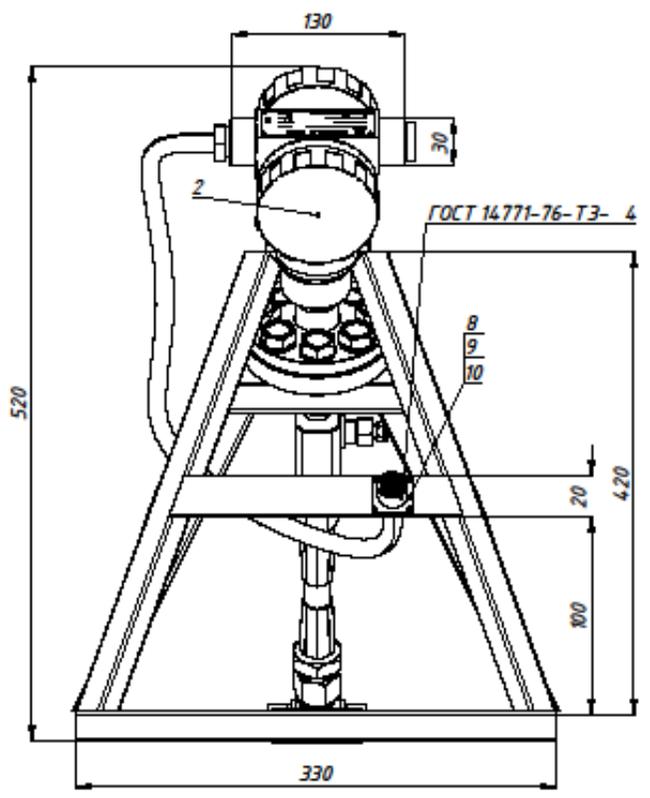
№ п/п	Диаметр условного прохода \varnothing , мм	Напор на стволе H , м.вод.ст.	Расход Q , л/с	Расстояние L , м / кол-во рукавов N , шт	Возникающие усилия F , Н (асфальт)	Схема подачи
1	50	50	15	—	—	—
2	65	50	15	100/6	338	 <p>Ду 65, n=6</p>
3	80	50	15	233/14	964	 <p>Ду 80, n=14</p>
4	50	50	15	100/6	488	 <p>Ду 50, n=6</p>
5	65	50	15	433/26	2929	 <p>Ду 65, n=26</p>
6	80	50	15	983/59	8124	 <p>Ду 80, n=59</p>

№ п/п	Диаметр условного прохода \varnothing , мм	Напор на стволе H , м.вод.ст.	Расход Q , л/с	Расстояние L , м / кол-во рукавов N , шт	Возникающие усилия F , Н (асфальт)	Схема подачи
7	50	50	20	–	–	–
8	65	50	20	50/3	169	 <p>Ду 65, n=3</p>
9	80	50	20	133/8	551	 <p>Ду 80, n=8</p>
10	50	50	20	50/3	244	 <p>Ду 50, n=3</p>
11	65	50	20	233/14	1577	 <p>Ду 65, n=14</p>

№ п/п	Диаметр условного прохода \varnothing , мм	Напор на стволе H , м.вод.ст.	Расход Q , л/с	Расстояние L , м / кол-во рукавов N , шт	Возникающие усилия F , Н (асфальт)	Схема подачи
12	80	50	20	550/33	4544	

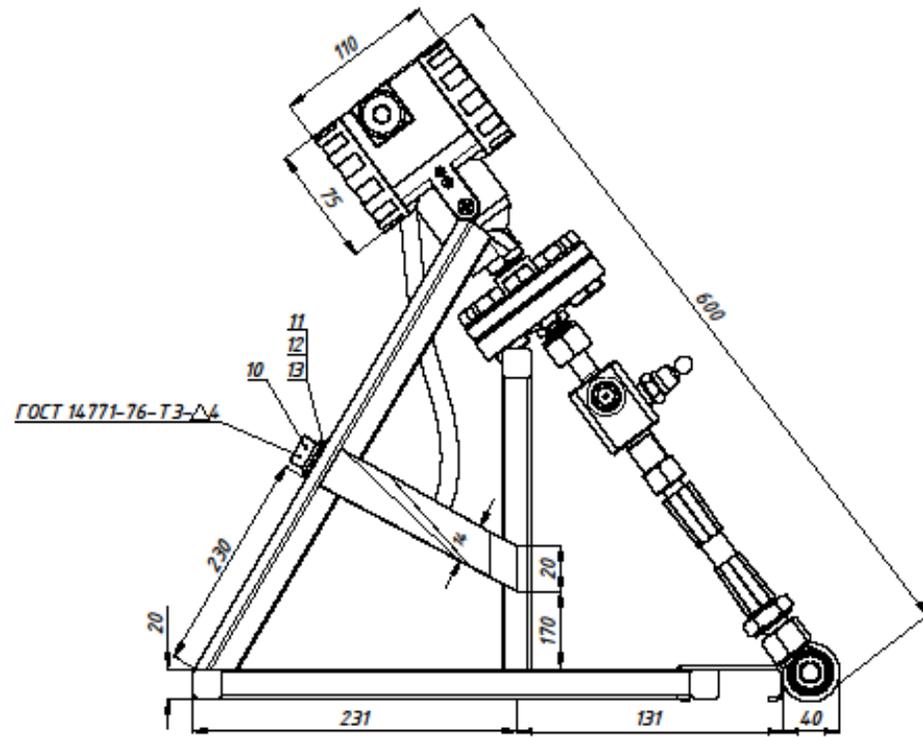
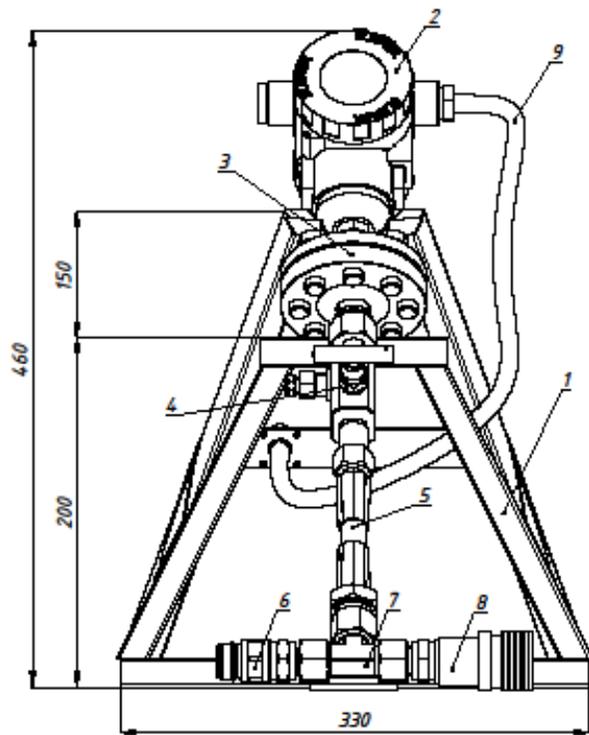
Приложение Г
(обязательное)

СБОРОЧНЫЕ ЧЕРТЕЖИ РУКАВНЫХ ВСТАВОК
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА



ИЗМ. № 01/02
 Исполнитель: [blank]
 Проверка: [blank]

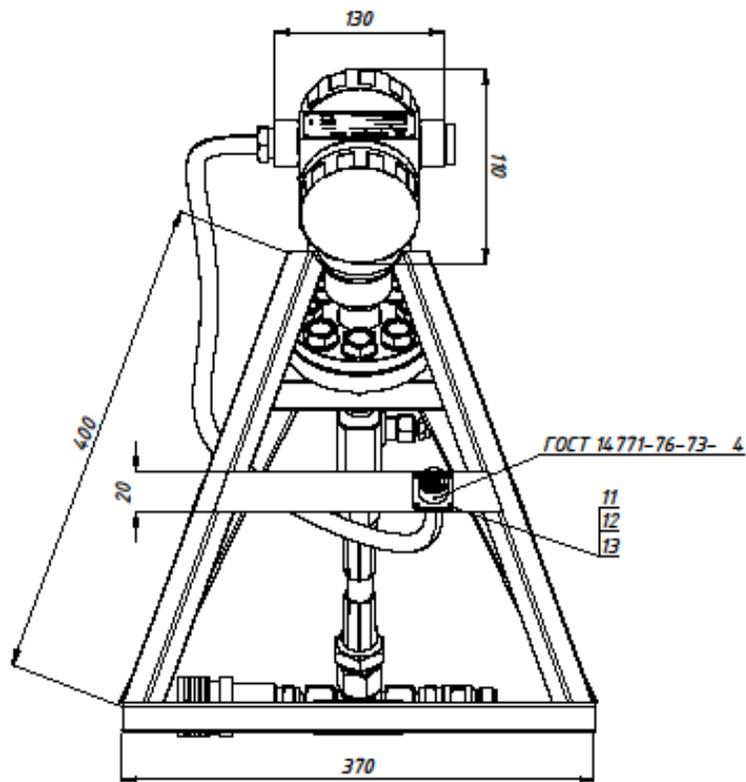
		PB - 01.002	
Исполн.	Иванов А.А.	Контроль	Иванов И.И.
Экз.	Козлов П.В.	Дата	10.08
Т. Контр.		Имя	Иванов
Исп. код.		АТК	
П. Контр.		Формат А1	
Исп.			



Исполнитель: [Blank]
 Проверил: [Blank]
 Дата: [Blank]

				PB - 02.001		
№	И.О.Ф.	Подп.	Дата	Листы	Итого	Изменен
1	Александр Н.А.			1	1	10.08
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
				АТК		

Формат А1



Исполн. А.Иванов
 Проверил. В.Петров
 Утвердил. С.Сидоров

				PB - 02.002			
Исполн.	А.Иванов	Проверил	В.Петров	Утвердил	С.Сидоров	Дата	10.08
Рукоявная установка №2. Сборочный чертеж							
				ИТЭС			
Формат А1							

Приложение Д
(обязательное)

ПРОВЕРКА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗЫ
МЕТОДАМИ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА

В качестве инструмента, реализующего методологию дисперсионного анализа, использовалось стандартное приложение *Excel MS Office*. Для решения задачи количественного подтверждения теоретической гипотезы, состоящей в оценке и сравнении результатов потерь напора, полученных экспериментальным путем в зависимости от прокладки рукавной линии, необходимо и достаточно метода однофакторного дисперсионного анализа.

В качестве исходных данных для однофакторного дисперсионного анализа (далее ОДА) используется массив данных по анализируемым выборкам с одинаковым или различным количеством элементов. Обычно выборки представляют в виде таблицы (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные для ОДА

Входные данные	Выборка 1	Выборка 2
Уровень 1	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$
Уровень 2	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$
Уровень 3	$X_{1,3}$	$X_{2,3}$
Уровень ...	$X_{1,...}$	$X_{2,...}$
Уровень n	$X_{1,n}$	$X_{2,n}$
Уровень k		$X_{2,k}$
Объем $N = n + k$	n	k
Среднее	X_1	X_2
Ст. отклонение	σ_1	σ_2

Выдвигая статистическую гипотезу в методологии ОДА, метод позволяет утверждать, что все средние значения из различных генеральных совокупностей (которые представлены выборочными средними) равны между собой:

Нулевая гипотеза $H_0: \mu_1 = \mu_k (X_1 = X_2)$;

Альтернативная гипотеза $H_1: \mu_1 \neq \mu_k (X_1 \neq X_k)$.

При доказательстве нулевой гипотезы используется подход, состоящий в бинарном сравнении статистик: F – тестовая статистика; F – расчетная статистика (обычно задается табличным значением).

При выдвижении нулевой гипотезы необходимо утверждать, что средние значения всех выборок равны. Для этого необходимо оценить средние значения по всем выборкам, а также определить общее среднее значение:

Среднее для выборки 1 – $X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$;

Среднее для выборки 2 – $X = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i$;

Общее среднее 3 – $X = \frac{nX_1 + kX_2}{N}$.

Изучение различий между способами прокладки рукавной линии при анализе нулевой и альтернативной гипотезы проводится на основе анализа полной дисперсии и вариаций внутри группы и между группами:

$$SS = SS_b + SS_w$$

где SS_b – межгрупповая вариация (between – между группами);

SS_w – внутригрупповая вариация (within – внутри группы).

Межгрупповая вариация является количественным критерием, определяющим отличие выборочных средних значений. Критерий равен нулю в случае, когда средние значения равны и возрастает на множестве числовых значений в том случае если средние, отличаются друг от друга. Расчет межгрупповой дисперсии проводится по формуле:

$$SS_b = \sum_{i=1}^n n_i (X_i - X)^2.$$

На основе полученного значения оценивается средний квадрат значений выборки.

$$MS_b = \frac{SS_b}{k-1}.$$

В свою очередь внутригрупповая вариация (дисперсия) является количественным критерием, определяющим отличие средних значений внутри группы, и определяется по формуле:

$$SS_w = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \sigma_i^2.$$

В этом случае средний квадрат определяется следующим образом:

$$MS_w = \frac{SS_w}{n-k}.$$

В ОДА влияние независимой переменной на зависимую переменную определяется корреляционным отношением межгрупповой вариации и полной вариацией, которое обозначается, как η^2 и рассчитывается по формуле:

$$\eta^2 = \frac{SS_b}{SS}.$$

Очевидно, что полученное значение корреляционного отношения находится в интервале от 0 до 1. И если выборочные средние равны, то корреляционное отношение равно 0, в этом случае можно утверждать, что независимая исследуемая переменная не влияет на зависимую, и, наоборот, если выборочные средние отличаются друг от друга, то корреляционное отношение приближается к единице тем интенсивнее, чем существеннее различие между последними.

Проверка нулевой и альтернативной гипотезы в ОДА сводится к процедуре статистической проверки гипотезы о равенстве средних значений путем расчета F-статистики по формуле:

$$F = \frac{MS_b}{MS_w}.$$

Окончательный вывод в ОДА делается на основе сопоставления значений табличной статистики и истинной F-статистики.

Для определения табличного (критического) значения $F_{крит}$ статистики необходимо располагать данными о количестве степеней свободы df и уровне значимости α . Обычно количество степеней свободы определяется для меж группой вариации $df_b = k-1$ для внутригрупповой вариации $df_w = N - k$, а уровень значимости $\alpha = 0,05$.

Нулевая гипотеза принимается в том случае, если $F > F_{крит}$, в противном случае принимается альтернативная гипотеза.

Результаты ОДА в приложении *Excel MS Office* оформляются в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа

Источник вариации	SS	df	MS	F	P	$F_{крит}$
Между группами	SS_b	$df_b=k-1$	MS_b	F		$F_{кр}$
Внутри групп	SS_w	$df_w=N-k$	MS_w			
Итого	$SS=SS_b+SS_w$	$df=df_b+df_w$				

1. По результатам экспериментального исследования по определению потерь давления в рукавах при подаче смеси выдвинуты две гипотезы при уровне значимости 0,01.

Нулевая гипотеза H_0 : отличия между способами прокладки линий с позиции потери давления на стволе нет или отличия не существенны.

Альтернативная гипотеза H_1 : отличия между способами прокладки рукавных линий с позиции потери давления на стволе существенны.

Таблица 3 – Сравнение значений для смеси при прямолинейной и криволинейной прокладке рукавной линии

Фактор	Результаты измерений
Прямолинейная прокладка рукавной линии	2,548; 2,598; 2,504; 2,588; 2,621; 2,636; 2,631; 2,607; 2,603; 2,596; 2,591; 2,583; 2,567; 2,529; 2,587; 2,601; 2,573; 2,478; 2,584; 2,582; 2,578
прокладка рукавной линии с учетом кривизны	2,587; 2,593; 2,599; 2,603; 2,596; 2,587; 2,594; 2,614; 2,62; 2,614; 2,607; 2,611; 2,598; 2,601; 2,621; 2,594; 2,611; 2,597; 2,621; 2,629; 2,581; 2,592

Таблица 4 – Промежуточные результаты ОДА

Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия
прямолинейная	21	54,185	2,580238095	0,00149929
криволинейная	22	57,27	2,603181818	0,000167013

Таблица 5 – Результаты ОДА при проверке нулевой гипотезы

Источник вариации	SS	df	MS	F	P -Значение	$F_{крит}$
Между группами	0,0056	1	0,0056	6,92	0,011	7,29
Внутри групп	0,033	1	0,00081			
Итого	0,039	2				

Результаты анализа показывают, что разницы в способе прокладки рукавных линий нет, об этом свидетельствует значение $F: 7,29 > 6,92$.

Нулевая гипотеза отвергается, вероятность ошибки при непринятии нулевой гипотезы составляет величину 0,011

2. По результатам экспериментального исследования по определению потерь давления в рукавах при подаче воды выдвинуты две гипотезы при уровне значимости 0,01.

Нулевая гипотеза H_0 : отличия между способами прокладки линий с позиции потери давления на стволе нет или не существенны.

Альтернативная гипотеза H_1 : отличия между способами прокладки рукавных линий с позиции потери давления на стволе существенны.

Таблица 6 – Сравнение значений для воды при прямолинейной и криволинейной прокладке рукавной линии

Фактор	Результаты измерений
Прямолинейная прокладка рукавной линии	2,574; 2,517; 2,519; 2,504; 2,498; 2,479; 2,531; 2,554; 2,513; 2,521; 2,522; 2,531; 2,521; 2,524; 2,529; 2,531; 2,53; 2,514; 2,502; 2,517; 2,507; 2,499; 2,609; 2,523; 2,506; 2,524; 2,531; 2,545; 2,517
прокладка рукавной линии с учетом кривизны	2,517; 2,531; 2,51; 2,521; 2,519; 2,532; 2,514; 2,52; 2,534; 2,537; 2,529; 2,531; 2,524; 2,531; 2,542; 2,537; 2,544; 2,541; 2,543; 2,539; 2,532; 2,532; 2,523; 2,519; 2,509; 2,516; 2,531

Таблица 7– Промежуточные результаты ОДА

Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия
прямолинейная	29	73,192	2,523862069	0,00059148
криволинейная	27	68,258	2,528074074	0,000104302

Таблица 8 – Результаты ОДА при проверке нулевой гипотезы

Источник вариации	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F крит</i>
Между группами	0,00025	1	0,00025	0,695	0,408	7,12
Внутри групп	0,019	4	0,00036			
Итого	0,01952	55				

Результаты анализа показывают, что разницы в способе прокладки рукавных линий нет, об этом свидетельствует значение $F: 7,12 > 0,695$.

Ошибка при непринятии альтернативной гипотезы составляет величину 0,408.

3. По результатам экспериментального исследования по определению потерь давления в рукавах при подаче воды и смеси в горизонтальном направлении выдвинуты две гипотезы при уровне значимости 0,01.

Нулевая гипотеза H_0 : отличия в потере давления при транспортировании в горизонтальном направлении воды и смеси нет или отличия не существенны.

Альтернативная гипотеза H_1 : отличия в потере давления при транспортировании в горизонтальном направлении воды и смеси являются существенными.

Таблица 9 – Сравнение значений для воды и смеси при горизонтальной прокладке рукавной линии

Фактор	Результаты измерений
Вода	2,574; 2,517; 2,519; 2,504; 2,498; 2,479; 2,531; 2,554; 2,513; 2,521; 2,522; 2,531; 2,521; 2,524; 2,529; 2,531; 2,53; 2,514; 2,502; 2,517; 2,507; 2,499; 2,609; 2,523; 2,506; 2,524; 2,531; 2,545; 2,517; 2,517; 2,531; 2,51; 2,521; 2,519; 2,532; 2,514; 2,52; 2,534; 2,537; 2,529; 2,531; 2,524; 2,531; 2,542; 2,537; 2,544; 2,541; 2,543; 2,539; 2,532; 2,532; 2,523; 2,519; 2,509; 2,516;
Смесь	2,548; 2,598; 2,504; 2,588; 2,621; 2,636; 2,631; 2,607; 2,603; 2,596; 2,591; 2,583; 2,567; 2,529; 2,587; 2,601; 2,573; 2,478; 2,584; 2,582; 2,578; 2,587; 2,593; 2,599; 2,603; 2,596; 2,587; 2,594; 2,614; 2,62; 2,614; 2,607; 2,611; 2,598; 2,601; 2,621; 2,594; 2,611; 2,597; 2,621; 2,629; 2,581; 2,592

Таблица 10 – Промежуточные результаты ОДА

Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия
Вода	56	141,45	2,525892857	0,000354934
Смесь	43	111,455	2,591976744	0,000932118

Таблица 11 – Результаты ОДА при проверке нулевой гипотезы

Источник вариации	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F_{крит}</i>
Между группами	0,106	1	0,106	175	1 E-23	6,90
Внутри групп	0,0587	97	0,0006			
Итого	0,165	98				

Результаты анализа показывают, что разница существенна, следовательно, нулевая гипотеза отвергается $F: 6,9 < 175$.

Ошибка принятия альтернативной гипотезы $1 \cdot 10^{-23}$.

Приложение Е
(обязательное)

МЕТОДИКИ И ПРОТОКОЛЫ ИСПЫТАНИЙ



МЧС РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ
МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ
ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ
ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «Объединенные спасательные
технологии»



Карпов В.В.
2016 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
Государственной противопожарной
службы МЧС России



полковник внутренней службы
М. В. Алешков
2016 г.

Программа и методика

**проведения экспериментального исследования по определению
возможности применения установки пожаротушения с системой
гидроабразивной резки при тушении пожаров
электроустановок переменным напряжением
до 30 кВ и частотой 50 Гц**

Москва – 2016 г



МЧС РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ
МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ
ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ
ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «Объединенные спасательные
технологии»

Карпов В.В.
2016 г.



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
Государственной противопожарной
службы МЧС России

М. В. Алешков
«20» июля 2016 г.



ПРОТОКОЛ

от «20» июля 2016 года

**испытаний установки пожаротушения с системой гидроабразивной резки при
тушении пожаров электроустановок переменным напряжением до 30 кВ и
частотой 50 Гц**

Результаты испытаний распространяются только на изделия,
подвергнутые испытаниям.

г. Москва – 2016 г.

СПРАВКА-ИНФОРМАЦИЯ
О ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПОЖАРНО-
ТАКТИЧЕСКИХ УЧЕНИЙ НА ТЭЦ-27
ФИЛИАЛ ПАО «МОСЭНЕРГО»
8 СЕНТЯБРЯ 2016 ГОДА

г. Мытищи – 2016 г.

рукавов с диаметрами условного прохода 50,65,80 мм. Также были получены значения тяговых характеристик МУПР при использовании его на различных горизонтальных поверхностях помещений станции. Все полученные значения были занесены в протокол №2.

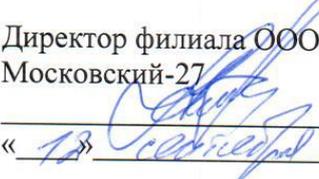
Считать целесообразным:

- использовать МУПР для тушения пожаров и защиты строительных конструкций от перегрева на объектах энергетики в условиях связанных с возникновением опасности обрушения или взрыва;
- доработать конструкцию МУПР с учетом специфики применения при тушении пожаров электрооборудования дополнительно оснастив ее средствами пожаротушения с возможностями вскрытия строительных конструкций;
- подготовить проект рекомендаций по применению мобильной робототехники при тушении пожаров на объектах энергетического комплекса.

От ТЭЦ-27 филиала ПАО «Мосэнерго»:
Директор ТЭЦ-27 филиала ПАО
«Мосэнерго»


_____ О.Н. Макаров
« _____ » _____ 2016г.

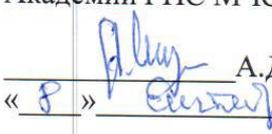
От ООО «Центр 112»
Заместитель генерального директора-
главный инженер ООО «Центр 112»
_____ А.В. Лукьянченко
« _____ » _____ 2016 г.

Директор филиала ООО «Центр 112»
Московский-27

_____ И.С. Антонов
« _____ » _____ 2016 г.

От Академии ГПС МЧС России
Первый заместитель начальника
Академии ГПС МЧС России


_____ В.А. Басов
« _____ » _____ 2016 г.

Начальник учебно-научного
комплекса пожаротушения
Академии ГПС МЧС России


_____ А.Д. Ищенко
« _____ » _____ 2016 г.

ТЭЦ-27 Филиал ПАО Мосэнерго
141031, Московская область, Мытищинский р-н, п/о Челобитьево

СОГЛАСОВАНО
Первый заместитель начальника
Академии ГПС МЧС России


В.А. Басов
« 8 » 09 2016 г.


УТВЕРЖДАЮ
Директор ТЭЦ-27 филиал
ПАО Мосэнерго


О.Н. Макаров
« 8 » 09 2016 г.


ПРОТОКОЛ

определения тактических и технических возможностей мобильной установки
пожаротушения роботизированной при прокладке рабочих рукавных линий на
объектах энергетики

8 сентября 2016 года

Результаты испытаний распространяются только на изделия,
подвергнутые испытаниям.

г. Мытищи – 2016 г.



МЧС РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ
МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ
ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ
СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
Государственной противопожарной
службы МЧС России
полковник внутренней службы



М.В. Бедило

2018 г.

ПРОТОКОЛ

от «10» апреля 2018 года

**предварительных испытаний насосно-рукавных систем установки
пожаротушения с гидроабразивной резкой**

Результаты испытаний распространяются только на изделия,
подвергнутые испытаниям.

Москва – 2018 г.



МЧС РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ
МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ
ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ
СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
Государственной противопожарной
службы МЧС России
полковник внутренней службы

М.В. Бедило

2018 г.



**Программа и методика предварительных испытаний
насосно-рукавных систем установок пожаротушения с гидроабразивной
резкой**

Москва – 2018 г.

ПОСОБИЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ



МИНИСТЕРСТВО
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ,
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ
СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ
(МЧС РОССИИ)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ МИНИСТРА

Театральный проезд, 3, Москва, 109012
Тел. 8(499)216-79-01; факс: 8(495)624-19-46
Телерайп: 114-933 «ФОТОН», 114-934 «ФОТОН»
E-mail: info@mchs.gov.ru

19 АПР 2017 № 43-2414-18

На № _____ от _____

О направлении Пособия по технологии
применения робототехнических комплексов
для пожаротушения на объектах атомной
энергетики

Начальникам
главных управлений МЧС России
по субъектам Российской
Федерации
(по списку)

Начальникам
специальных управлений ФПС
(по списку)

Начальнику
Центра по проведению
спасательных операций особого
риска «Лидер»

Уважаемые коллеги!

Направляю для учета в работе Пособие по технологии применения робототехнических комплексов для пожаротушения на объектах атомной энергетики, разработанное ФГБУ ВНИИПО МЧС России и ФГБОУ ВПО АГПС МЧС России при участии Департамента готовности сил и специальной пожарной охраны МЧС России в соответствии с пунктом 1.3-7/Б2 Плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ МЧС России на 2016 год, утвержденного приказом МЧС России от 14.04.2016 № 188дсп.

Приложение: на 82 л. *добав*

В.В. Аксенов

Марахов П.А.
(495) 983-67-00

189024
19/10-2017
04 14

АКТ ВНЕДРЕНИЯ № 4/1.3-4/Б2 от 14.06.2017
результатов научно-технической деятельности в системе МЧС России

1. *Наименование полученных результатов научно-технической деятельности:* Отчет по НИР «Применение робототехнических комплексов для обеспечения технологии пожаротушения на объектах атомной энергетики».

2. *Вид полученной научно-технической продукции:* проект научно-методического труда (пособия) по технологии применения робототехнических комплексов для пожаротушения на объектах атомной энергетики.

3. *Заказчик научно-технической продукции:* Департамент готовности сил и специальной пожарной охраны МЧС России.

4. *Исполнитель (соискатели) работ:* ФГБУ ВНИИПО МЧС России, (соисполнитель ФГБОУ ВО АГПС МЧС России).

5. *Основание для проведения работ по созданию научно-технической продукции:* п.1.3-7/Б2 Плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ МЧС России на 2016 год, утвержденного приказом МЧС России от 14.04.2016 № 188 ДСП (Решение коллегии МЧС России от 16 сентября 2015 г. №12/П).

6. *Дата и результаты приемки научно-технической продукции:* Акт сдачи-приемки НТП НТУ МЧС России №1/1.3-7/Б2 от 30.12.2016г., распоряжение ФГБУ ВНИИПО МЧС России о проведении приемки результатов НИР от 28.11.2016 № 54, положительное заключение заказчика.

7. *Сведения о внедрении результатов научно-технической деятельности:* пособие по технологии применения робототехнических комплексов для пожаротушения на объектах атомной энергетик, утвержденное заместителем Министра Российской Федерации В.В. Аксеновым № 2-4-71-21-18 от 18.04.2017 доведено до подразделений ФПС ГПС по охране объектов атомной энергетики (исх. от 19.04.2017 № 43-2414-18).

8. *Сведения об эффективности внедрения полученных результатов научно-технической деятельности в повседневную деятельность подразделений системы МЧС России:* результаты НИР способствуют повышению эффективности применения робототехнических комплексов для пожаротушения на объектах атомной энергетики и снижению риска для жизни сотрудников ФПС ГПС МЧС России при ликвидации ЧС на объектах атомной энергетики.

9. *Сведения о защите исключительных прав на полученные результаты научно-технической деятельности:* результаты НИР не содержат сведений, подлежащих защите исключительных прав на результат. Результаты принадлежат Российской Федерации в лице МЧС России.

Начальник
 Научно-технического управления
 МЧС России

_____ А.С. Смирнов

« 14 » 06 201_ г.

Заместитель директора Департамента
 готовности сил и специальной пожарной
 охраны

_____ Е.В. Саидов

« 14 » 06 201_ г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель Министра Российской
Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий



В.В. Аксенов

«18» 04 2017 г.

2-4-41-21-18

**ПОСОБИЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ**

Москва – 2017 г.

УДК (047.3)614.841.4:62/69

Авторы:

Савин Михаил Валерьевич - заместитель начальника НИЦ ПСРТ ФГБУ ВНИИПО МЧС России – начальник отдела разработки наземной робототехники;

Пеньков Илья Анатольевич – старший научный сотрудник отдела разработки наземной робототехники НИЦ ПСРТ ФГБУ ВНИИПО МЧС России;

Алешков Михаил Владимирович - заместитель начальника Академии ГПС МЧС России по научной работе, доктор технических наук, профессор;

Гусев Иван Александрович - адъюнкт 2-го курса ФПНПК Академии ГПС МЧС России.

Пособие по технологии применения робототехнических комплексов для пожаротушения на объектах атомной энергетики для подразделений ФПС ГПС: метод. пособие. М.: ВНИИПО, 2017, 82 с.

Изложены основные тактические подходы к применению робототехнических комплексов при тушении пожаров и тактические возможности робототехнических комплексов.

Рассмотрены особенности, повышающие тактические возможности подразделений пожарной охраны при использовании робототехнических комплексов.

Изложена тактика применения наземных робототехнических комплексов при тушении пожаров на объектах атомной энергетики.

Приложение 3
(обязательное)

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

УТВЕРЖДАЮ
 Начальник Академии ГПС МЧС России
 генерал-полковник внутренней службы
 Ш.Ш. Дагиров
 «5» 09 2017 г.

АКТ

на внедрение результатов исследований, полученных при выполнении
 диссертационной работы инженера Гусева Ивана Александровича

Комиссия в составе: заместителя начальника Академии по учебной работе Бедило Максима Владимировича, начальника УНК ПАСТ Рожкова Алексея Владимировича, начальника отдела организации научных исследований и научной информации Храмцова Сергея Петровича, составила настоящий акт о том, что при выполнении Академией Государственной противопожарной службы МЧС России г. Москва научно-исследовательской работы «Применение робототехнических комплексов для обеспечения технологии пожаротушения на объектах атомной энергетики» п. 1.3-7/Б2 Плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ МЧС России на 2016 год, утвержденного приказом МЧС России от 14.04.2016 г. №188ДСП (Решение коллегии МЧС России от 16 сентября 2015 г. №12/П) были использованы научные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы инженером Гусевым Иваном Александровичем при исследовании вопросов, связанных с разработкой и применением мобильной робототехники пожаротушения на объектах энергетики, в том числе и атомной.

На основании выполненной работы совместно со ФГБУ ВНИИПО МЧС России было разработано «Пособие по технологии применения робототехнических комплексов для пожаротушения на объектах атомной энергетики», утвержденное заместителем Министра Российской Федерации В.В. Аксеновым №2-4-71-21-18 от 18.04.2017г.

Заместитель начальника Академии
 по учебной работе
 полковник внутренней службы
 «4» 09 2017 г.



М.В. Бедило

Начальник УНК ПАСТ
 полковник внутренней службы
 «4» 09 2017 г.



А.В. Рожков

Начальник ООНИ и НИ
 полковник внутренней службы
 «4» 09 2017 г.



С.П. Храмцов

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «Варгашинский завод
противопожарного и специального
оборудования»

В.Н. Казаков

«21» 11 2017 г.

АКТ

на внедрение результатов исследований, полученных при выполнении
диссертационной работы инженера Гусева Ивана Александровича

Комиссия в составе: старшего инспектора отделения ФГКУ «Специальное управление ФПС №3 МЧС России» Круглякова Юрия Васильевича, первого заместителя генерального директора – главного инженера АО «ВзППСО» Емельянова Евгения Анатольевича, главного конструктора АО «ВзППСО» Смоленского Игоря Николаевича, составила настоящий акт о том, что при проведении приемочных испытаний дистанционно-управляемой роботизированной установки пожаротушения малого класса были использованы научные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы инженером Гусевым Иваном Александровичем при исследовании вопросов, связанных с разработкой методики проведения испытаний мобильной робототехники пожаротушения.

Методика проведения испытаний содержит сведения о порядке проведения испытаний, основных критериях и видах проводимых испытаний.

Старший инспектор отделения
ФГКУ «Специальное управление ФПС №3 МЧС России»
подполковник внутренней службы
«21» 11 2017 г.

Ю.В. Кругляков

Первый заместитель генерального директора – главный инженер
АО «ВзППСО»
«21» 11 2017 г.

Е.А. Емельянов

Главный конструктор АО «ВзППСО»
«21» 11 2017 г.

И.Н. Смоленский

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Главного управления
МЧС России по г. Москве по ГПС
генерал-майор внутренней службы

С.А. Желтов

« 14 » 02 2018 г.

АКТ

**на внедрение результатов исследований, полученных при выполнении
диссертационной работы инженера Гусева Ивана Александровича**

Комиссия в составе: начальника Управления пожарно-спасательных сил Главного управления МЧС России по г. Москве полковника внутренней службы Ширлина Д.А., заместителя начальника Управления пожарно-спасательных сил Главного управления МЧС России по г. Москве полковника внутренней службы Смыгалина С.Н. и заместителя начальника центра - начальника службы пожаротушения ФПС ФКУ «ЦУКС ГУ МЧС России по г. Москве» полковника внутренней службы Жуковского Ю.А., составила настоящий акт о том, что при разработке «Методических рекомендаций по тактике применения автомобилей, оборудованных установками пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки», были использованы научные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы инженером Гусевым Иваном Александровичем при исследовании вопросов, связанных с методикой эффективного применения рассматриваемых установок при тушении пожаров.

Методические рекомендации содержат сведения о тактических приемах и способах применения установок пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки, направленные на совершенствование деятельности пожарно-спасательных подразделений при использовании специальных систем пожаротушения на базе мобильной пожарной техники при тушении пожаров, проведения аварийно-спасательных работ и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Начальник Управления пожарно-спасательных сил
Главного управления МЧС России по г. Москве
полковник внутренней службы

Д.А. Ширлин

Заместитель начальника Управления пожарно-спасательных сил
Главного управления МЧС России по г. Москве
полковник внутренней службы

С.Н. Смыгалин

Заместитель начальника центра-
начальник службы пожаротушения
ФПС ФКУ «ЦУКС ГУ МЧС России по г. Москве»
полковник внутренней службы

Ю.А. Жуковский

УТВЕРЖДАЮ
 Директор ЗАО НПО «Курганский
 завод СпецТехники»
 В.В. Филимонов
 «23» 11 2017 г.

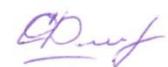


АКТ

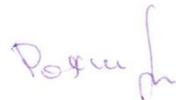
на внедрение результатов исследований, полученных при выполнении
 диссертационной работы инженера Гусева Ивана Александровича

Комиссия в составе: главного инженера ЗАО НПО «Курганский завод СпецТехники» Сергея Дмитриевича Федорова, начальника ОТК ЗАО НПО «Курганский завод СпецТехники» Валентины Павловны Борисенко, главного технолога ЗАО НПО «Курганский завод СпецТехники» Сергея Дмитриевича Рохина, составила настоящий акт о том, что при разработке многофункционального мобильного робототехнического комплекса РТС-РХ-Л1 были использованы научные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы инженером Гусевым Иваном Александровичем при исследовании вопросов, связанных с обоснованием технических требований к конструкции мобильного робототехнического комплекса.

Обоснованные технические требования относятся к типу привода, габаритным размерам, системам управления и устройству манипулирования.

Главный инженер
 ЗАО НПО «Курганский завод СпецТехники»  С.Д. Федоров
 «23» 11 2017 г.

Начальника ОТК
 ЗАО НПО «Курганский завод СпецТехники»  В.П. Борисенко
 «23» 11 2017 г.

Главный технолог
 ЗАО НПО «Курганский завод СпецТехники»  С.Д. Рохин
 «23» 11 2017 г.

Утверждаю
 Генеральный директор
 ООО «Объединенные спасательные
 технологии»



В.В. Карпов
 «20» 07 2016 г.

АКТ

на внедрение результатов исследований, полученных при выполнении
 диссертационной работы инженера Гусева Ивана Александровича

Комиссия в составе:

Начальника ОТК ООО «ОСТ» Колосовской Дианы Ростиславовна

Инженера ООО «ОСТ» Тимофеева Андрея Ивановича

Инженера ООО "ОСТ" Корнеева Юрия Игоревича

составила настоящий акт о том, что при испытаниях по определению
 возможности использования установки пожаротушения с системой
 гидроабразивной резки при тушении пожаров на электроустановках до 30 кВ
 была использована методика разработанная инженером Гусевым Иваном
 Александровичем в рамках выполнения диссертационной работы.

Целью испытания было определение возможности применения
 установки пожаротушения с системой гидроабразивной резки для тушения
 пожаров на электроустановках под переменным напряжением до 30 кВ и
 частотой 50 Гц. Испытания проводились на полигоне Академии ГПС МЧС
 России в июле 2016г.

В результате испытаний было установлено, что исследуемая установка
 пожаротушения с системой гидроабразивной резки может быть применена
 для тушения пожаров на электроустановках под переменным напряжением
 до 30 кВ и частотой 50 Гц при соблюдении требований нормативных
 документов, регламентирующих безопасное проведение аварийно-
 спасательных работ и работ по тушению пожаров.

Начальника ОТК ООО «ОСТ»

Инженера ООО «ОСТ»

Инженер ООО «ОСТ»

Д.Р. Колосовская

А.И. Тимофеев

Ю.И. Корнеев

Утверждаю
 Директор ООО «ПОЖСНАБ»
 А.Е. Бабицкий



« 10 » _____ 2015 г.

АКТ

на внедрение результатов исследований, полученных при выполнении диссертационной работы инженера Гусева Ивана Александровича

Комиссия в составе:

Главного инженера ООО «ПОЖСНАБ» – Чернецкого Д.Ю.

Начальника КТО ООО «ПОЖСНАБ» – Бобко И.В.

Начальника БТК ООО «ПОЖСНАБ» – Ионенкова А.С.

составила настоящий акт о том, что при определении возможности применения мобильного комплекса для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на объектах с конструкциями из высокопрочных материалов была использована методика, разработанная инженером Гусевым Иваном Александровичем в рамках выполнения диссертационной работы.

Основной целью методики является возможность подачи тонкораспыленной воды и пенообразователя для тушения пожаров на объектах, где необходимо выполнение специальных работ связанных с вскрытием конструкций посредством абразива.

Использование комплекса на объектах энергетики позволит организовать техническое обеспечение операций повышенной сложности, когда необходимо проведение работ с конструкциями из высокопрочных материалов.

Главный инженер
 ООО «ПОЖСНАБ»

Начальник КТО
 ООО «ПОЖСНАБ»

Начальник БТК
 ООО «ПОЖСНАБ»

Чернецкий Д.Ю.

Бобко И.В.

Ионенков А.С.