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

Академия Государственной противопожарной службы

На правах рукописи

Чистяков Тимур Игоревич

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ПРИ ТУШЕНИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ 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:

кандидат технических наук, профессор

Роенко Владимир Васильевич

Москва — 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
ГЛАВА 1 ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ 11
1.1 Обзор статистических данных по авариям и пожарам на объектах энергетического комплекса 11
1.2 Проблемы обеспечения электробезопасности при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики. 19
1.3 Анализ методик исследования токопроводимости огнетушащих веществ 23
1.4 Температурно-активированная вода и установка для ее получения 40
1.5 Применение эмпирической методики к исследованию токопроводимости струй температурно-активированной воды и ее результаты 46
Выводы по первой главе 54
ГЛАВА 2 МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТОКОПРОВОДИМОСТИ СТРУЙ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ 56
2.1 Анализ электрических процессов с применением комплексных сопротивлений на месте тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики 56
2.2 Влияние геометрических параметров струй температурно-активированной воды на их комплексное сопротивление 61
2.3 Влияние электроперколяционных параметров струй температурно-активированной воды на их комплексное сопротивление 70
2.4 Связь объемной концентрации фаз в гетерогенном потоке струи температурно-активированной воды с ее электрическим сопротивлением постоянному току 86

2.5 Концепция опытно-экспериментального стенда для определения сопротивления постоянному току и угла раскрытия струй температурно-активированной воды 89
2.6 Метод определения комплексных электрических параметров струй температурно-активированной воды 94
Выводы по второй главе 97
ГЛАВА 3 КРИТЕРИИ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ 99
3.1 Проведение экспериментального исследования и предварительная обработка результатов 99
3.2 Аппроксимация результатов измерения сопротивлений постоянному току и углов раскрытия струй температурно-активированной воды аналитическими выражениями 111
3.3 Математическая обработка результатов измерения и получение комплексных электрических параметров струй температурно-активированной воды 120
3.4 Определение расстояний безопасного применения пожарных стволов для подачи температурно-активированной воды при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики 130
3.5 Сравнительный анализ безопасности применения температурно-активированной воды и других огнетушащих веществ, при тушении пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики 135
Выводы по третьей главе 137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 140
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 141
Приложение А ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ И УГЛА РАСКРЫТИЯ СТРУЙ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ

ПРИ ИХ ПОДАЧЕ ИЗ ПОЖАРНЫХ СТВОЛОВ АВТОМОБИЛЯ ПОЖАРНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО 167
Приложение Б ФОТОГРАФИИ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА, ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ 215
Приложение В РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ И УГЛА РАСКРЫТИЯ СТРУЙ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ПРИ ИХ ПОДАЧЕ ИЗ ПОЖАРНЫХ СТВОЛОВ АВТОМОБИЛЯ ПОЖАРНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО 223
Приложение Г ДАННЫЕ КОНДУКТОМЕТРИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УДЕЛЬНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПРОБЫ ВОДЫ ИЗ ГИДРАНТА НА ТЕРРИТОРИИ ФАУ ДПО ВОЛГОДОНСКИЙ УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ФПС 271
Приложение Д АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ 273

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Электроэнергетика является важнейшей отраслью экономики Российской Федерации. К составным частям единой энергосистемы страны относятся: генерирующие мощности, системы преобразования, передачи и распределения электроэнергии. На этих объектах остаются риски возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций из-за ряда причин: высокий коэффициент износа оборудования, несвоевременное выполнение комплекса плановых ремонтных работ, человеческий фактор и другие причины. Многие аварийные ситуации на объектах электроэнергетики сопровождаются возникновением пожаров, наносящих прямой и сопутствующий ущерб в виде выхода из строя или длительной остановки незатронутого огнем оборудования.

Для минимизации последствий пожаров на энергетических предприятиях, прибывшие к месту вызова подразделения пожарной охраны должны как можно быстрее приступить к тушению, не допуская разрастание площади горения. Однако по причине высокой вероятности поражения личного состава электрическим током и электрической дугой быстрое начало процесса тушения электроустановок и электрооборудования не всегда возможно, так как время тратится на действия по обеспечению электробезопасности.

В ряде случаев обесточивание электроустановок и электрооборудования невозможно, так как данные действия могут привести к развитию чрезвычайной ситуации с более тяжелыми последствиями (например радиационной аварии ядерного реактора АЭС). По этой причине актуальными проблемами являются: тушение электроустановок без снятия напряжения (пожары класса Е); обеспечение электробезопасности личного состава.

Степень разработанности темы исследования. Исследованию различных огнетушащих веществ и технических средств их подачи на применимость для тушения электроустановок под напряжением посвящены ряд работ, проведенных

в ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России (ВНИИПО) (Е.В. Баранов, С.Н. Артюнов, Н.В. Навценя и др.) и Академии ГПС МЧС России (М.В. Алешков, А.А. Колбасин, В.Д. Федяев, И.А. Гусев). Все эти исследования основаны на применении эмпирической методики и регрессионного анализа. Не смотря на универсальность, простоту и эффективность эмпирической методики, она не раскрывает суть электрических процессов, протекающих на месте тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики, и в полной мере не объясняет связь физических параметров струй огнетушащих веществ с их электропроводимостью.

Среди всех огнетушащих веществ вода — наиболее распространенное, дешевое и эффективное средство пожаротушения. При применении в качестве огнетушащего вещества воды основной проблемой становится ее электропроводимость. Авторы исследований в этой области отмечают большую перспективность применения распыленных и тонкораспыленных струй воды при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики по причине их низкой электропроводимости.

В Академии ГПС МЧС России под руководством профессора В.В. Роенко была разработана технология, а также технические средства подачи температурно-активированной воды. Струи температурно-активированной воды имеют ряд принципиальных отличий от струй тонкораспыленной воды, одним из которых является размер и концентрация капель. Гораздо меньшие по сравнению с тонкораспыленной водой капли температурно-активированной воды и их объемная концентрация в струе предполагают и более высокое электрическое сопротивление. Эти отличия температурно-активированной воды позволяют предположить, что ее применение для тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики более безопасно.

Однако струи температурно-активированной воды и технические средства их подачи не изучались в аспекте их применения для тушения электроустановок под напряжением. Вместе с тем необходимо провести более глубокое

теоретическое исследование электрических процессов на месте тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики струями температурно-активированной воды и определить параметры, при которых такое тушение будет безопасным. Этой проблеме посвящена данная работа.

Таким образом, **целью исследования** является обоснование возможности применения температурно-активированной воды для тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

Для достижения поставленной цели в работе ставились и решались следующие **задачи:**

— проведение анализа известных методик изучения токопроводимости струй огнетушащих веществ и возможность их применения для струй температурно-активированной воды;

— разработка теоретического описания и модели электрических процессов, возникающих при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики струями температурно-активированной воды;

— разработка, на основе теоретической модели, опытно-экспериментального стенда и метода для определения электрического сопротивления струй температурно-активированной воды;

— проведение экспериментального исследования электрического сопротивления и углов раскрытия струй температурно-активированной воды;

— обоснование возможности применения температурно-активированной воды для безопасного тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

Объектом исследования являлся процесс тушения температурно-активированной водой электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

В качестве **предмета исследования** рассматривались параметры электрических процессов, протекающих в системе струй температурно-активированной воды при тушении электроустановок, функционирующих под напряжением на объектах энергетики.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Предложен экспериментально-аналитический метод определения комплексных электрических параметров струй температурно-активированной воды и гетерогенных струй других огнетушащих веществ при тушении электроустановок переменного тока, функционирующих под напряжением.

2. Разработан опытно-экспериментальный стенд для определения сопротивления постоянному току и углов раскрытия струй температурно-активированной воды и гетерогенных струй других огнетушащих веществ.

3. Проведен сравнительный анализ токопроводимости струи температурно-активированной воды и струй других огнетушащих веществ.

4. Обоснована возможность применения температурно-активированной воды для безопасного тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в том, что полученные аналитические зависимости позволяют определить токи утечки по струе не только температурно-активированной воды, но и по гетерогенным струям других огнетушащих веществ. Обоснована возможность безопасного применения температурно-активированной воды и определены минимальные расстояния ее подачи при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

Методология и методы исследования. В основу исследования положен метод анализа электрических процессов, опирающийся на теории: электрических цепей, электротехники, перколяции, многофазных потоков, натурные испытания и расчеты, применяемые для определения возможности безопасного тушения температурно-активированной водой, поверхностным способом, пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

Положения, выносимые на защиту:

— результаты исследования комплексных электрических параметров струй температурно-активированной воды при их применении для тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики;

— аналитические выражения для определения величины переменного тока утечки в зависимости от комплексного сопротивления, геометрических параметров, концентрации фаз в струях температурно-активированной воды;

— экспериментально-аналитический метод определения безопасных расстояний тушения температурно-активированной водой электрооборудования в зависимости от величины переменного напряжения электроустановки, объемной концентрации фаз гетерогенных струй температурно-активированной воды и их геометрических и перколяционных параметров.

Степень достоверности основных результатов, выводов и рекомендаций исследования основана на научно выверенных и обоснованных методах анализа и обработки полученных данных. Экспериментальное исследование проводилось на стенде, в состав которого входит сертифицированное оборудование, выполняющее основное измерение (сопротивление постоянному току) с приемлемой точностью и не требующее дополнительной аттестации по метрологии.

Апробация результатов. Основные результаты работы доложены на семи конференциях: 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности — 2015» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2015); Всероссийской конференции и школы для молодых ученых «Системы обеспечения техносферной безопасности» (г. Таганрог, Южный федеральный университет, 2015); 5-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016); XXVI международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь» (г. Москва, Академия гражданской защиты МЧС России, 2016); IV Всероссийской научной конференции и школы для молодых ученых (с международным участием) «Системы обеспечения техносферной безопасности» (г. Таганрог, Южный федеральный университет, 2017); XXVI международная научно-технической конференции «Системы безопасности — 2017» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017); VII Международной научно-практической конференции молодых

ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности — 2018» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2018).

Практическая значимость подтверждена использованием полученных в диссертации результатов применения температурно-активированной воды для безопасного тушения пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики:

— при проведении безопасного тушения температурно-активированной водой электрощита под напряжением 380 В на территории ГКУ Архангельской области «Центр ГЗ»;

— модернизации конструкции модельного ряда многоцелевых пожарно-спасательных автомобилей с установкой пожаротушения температурно-активированной водой на предприятии ООО «МПЗ» в целях их применения для тушения электроустановок под напряжением;

— повышении квалификации персонала филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция» по программе «Пожарно-технический минимум для оперативного персонала АЭС по тушению пожаров на электроустановках, находящихся под напряжением»;

— первоначальном обучении, профессиональной переподготовке и повышении квалификации слушателей ФАУ ДПО «Волгодонский учебный центр ФПС» по предметам «Пожарная и аварийно-спасательная техника» и «Пожарная тактика» по теме «Тушение электроустановок под напряжением».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России.

Структура, объем работы и ее основные разделы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Содержание работы изложено на 277 страницах машинописного текста, включает в себя 16 таблиц, 62 рисунка, список литературы из 213 наименований, 5 приложений.

ГЛАВА 1 ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

1.1 Обзор статистических данных по авариям и пожарам на объектах энергетического комплекса

Электроэнергетика обеспечивает устойчивое функционирование и развитие промышленности, сельского хозяйства, транспорта и других отраслей экономики Российской Федерации. К составным частям электроэнергетической отрасли относятся: генерирующие мощности, системы преобразования, передачи и распределения электроэнергии. Эти структурные элементы образуют совокупность производственных и иных имущественных объектов электроэнергетики, связанных единым процессом производства и передачи электрической энергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, называемых «Единой энергетической системой России» (ЕЭС России) [58].

ЕЭС России состоит из 71 региональной системы, которые образуют 7 объединенных энергосистем: Востока, Сибири, Урала, Средней Волги, Юга, Центра и Северо-Запада [59]. Все энергосистемы соединены межсистемными высоковольтными линиями электропередачи (ЛЭП) напряжением 220–500 кВ и выше и работают в синхронном режиме (рисунок 1.1).

В электроэнергетический комплекс ЕЭС России входит 805 электростанций мощностью свыше 5 МВт. Электростанции делятся на пять основных видов генерации:

1) тепловые (ТЭС);
2) гидравлические (ГЭС);
3) атомные (АЭС);
4) солнечные (СЭС);
5) ветровые (ВЭС).

Рисунок 1.1 — Территориальное расположение региональных энергосистем России

На 1 января 2019 г. общая установленная мощность электростанций ЕЭС России составила 243 243,2 МВт. Ежегодно все станции вырабатывают около одного триллиона кВт·ч электроэнергии. В 2018 г. электростанции ЕЭС России выработали 1 070,9 млрд кВт·ч, что на 1,6 % больше, чем в 2017 г. (рисунок 1.2).

а *б*

Рисунок 1.2 — Структура ЕЭС России (по состоянию на 01.01.2019 г.) [59]:
а — выработки электроэнергии, %;
б — выработка установленной мощности электростанций, %

Сетевое хозяйство ЕЭС России насчитывает более 10 700 линий электропередачи класса напряжения 110–1150 кВ и общей протяженностью 472 735 км.

Диспетчерское управление электроэнергетическими режимами 7 энергообъединений и энергосистем, расположенных на территории 81 субъекта Российской Федерации, осуществляет АО «Сетевой оператор ЕЭС».

Динамика работы ЕЭС России показывает две ежегодных тенденции:

1) рост потребления электрической энергии [60] (рисунок 1.3);

2) старение генерирующего и сетевого оборудования [61] (рисунки 1.4, 1.5).

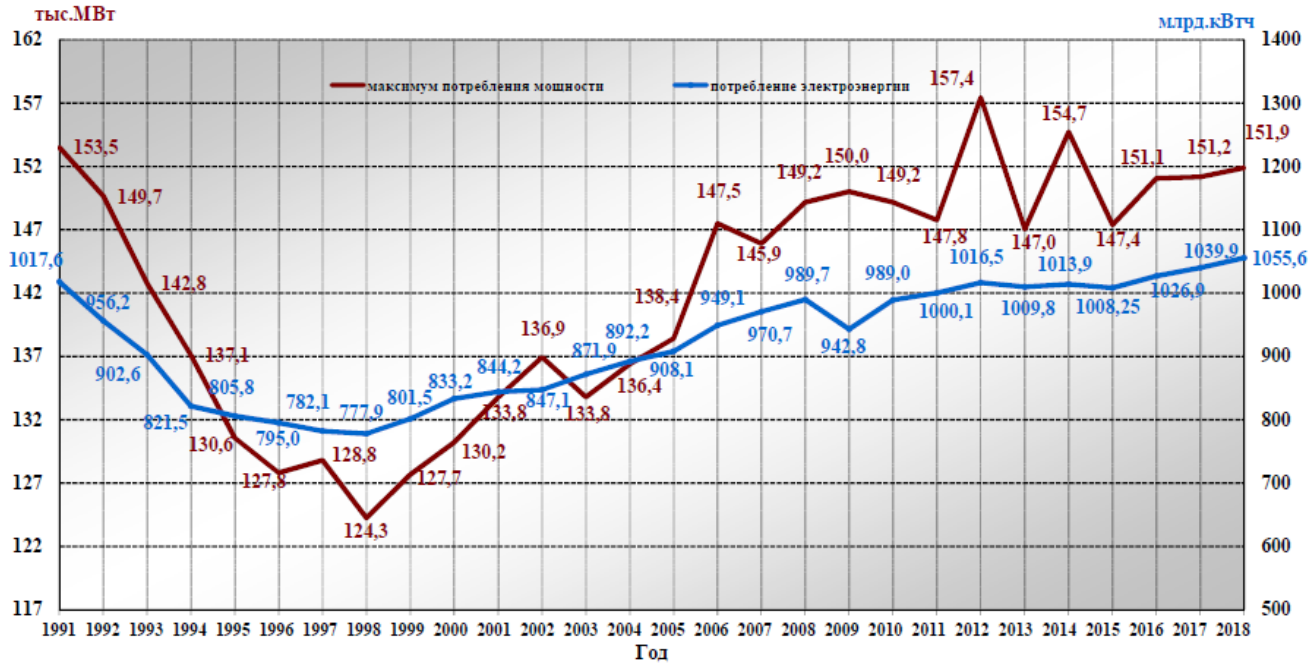


Рисунок 1.3 — Динамика изменений потребления электроэнергии и мощности по ЕЭС России [60]

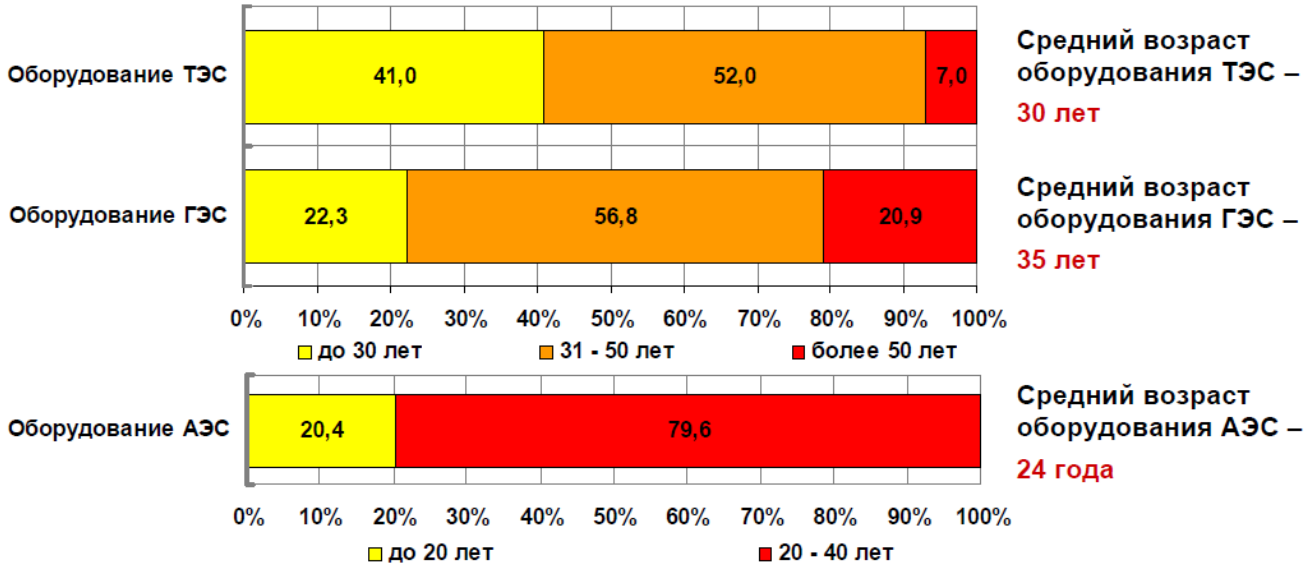


Рисунок 1.4 — Возрастная структура генерирующего оборудования [61]

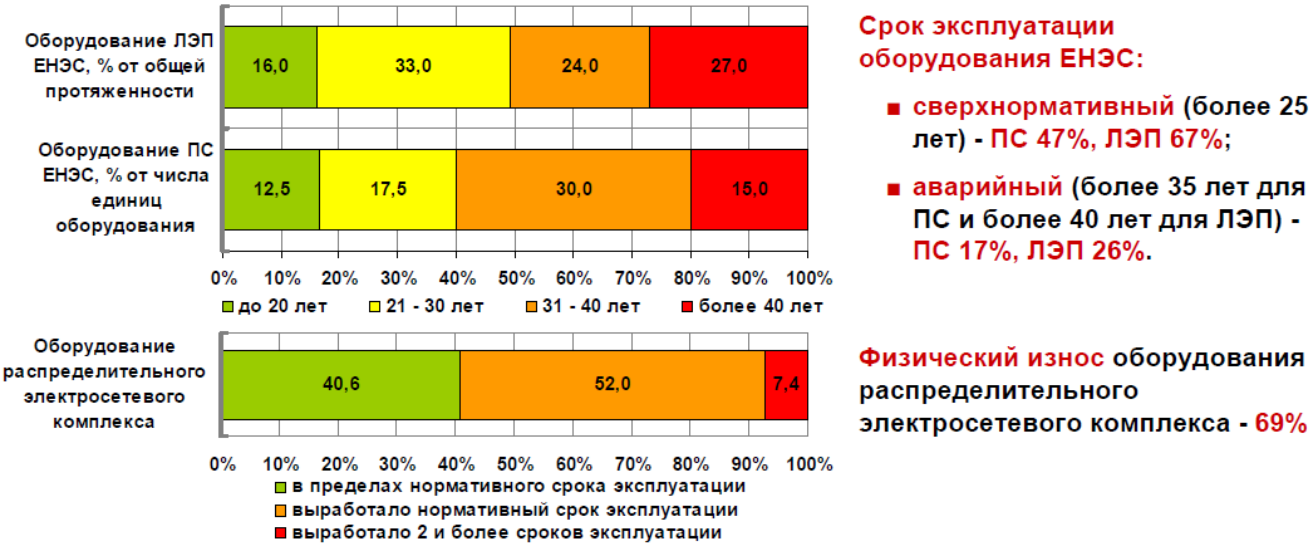


Рисунок 1.5 — Возрастная структура электросетевого оборудования Единой национальной (общероссийской) электрической сети (ЕНЭС) [61]

Высокая степень изношенности генерирующего и электросетевого оборудования ЕЭС России на фоне роста потребления электрической энергии и недостаточных капиталовложений в обновление основных фондов ведет к возникновению аварий на объектах энергетики.

Анализ сведений за период 2013–2019 гг. из [62] показывает уровень аварийности генерирующего и электросетевого оборудования ЕЭС России, данные по которому представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 — Статистические показатели аварийности генерирующего и электросетевого оборудования ЕЭС России за 2013–2019 гг.

Всего по составляющим ЕЭС России	**Число аварий по годам**						
	2013	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019* г.**
Электростанции	4428	4545	4323	3943	3804	3277	961
Электрические сети	19 866	19 089	16 609	15 963	15 086	14 350	2978

*По состоянию на январь–апрель 2019 г.

Из таблицы 1.1 следует, что хотя аварийность генерирующего и электросетевого оборудования ЕЭС России снижается год от года, но остается на высоком уровне и в среднем составляет 4053 и 16 827 аварий ежегодно соответственно.

Зачастую аварии на объектах электроэнергетики сопровождаются пожарами, наносящими большой прямой и сопутствующий материальный

ущербы, приводящие к перерывам в тепло- и энергоснабжении потребителей, травматизму и гибели людей и другим тяжелым последствиям. Анализ статистических данных [65] ВНИИПО по пожарам за десятилетний период с 2009 по 2018 гг., причинами которых стали нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования, представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 — Статистические показатели по пожарам на электрооборудовании и их последствиям за 2009–2018 гг.

Годы	**Число пожаров по причине нарушения правил устройства и эксплуатации электро-оборудования, ед.**	**Общее число пожаров, %**	**Прямой материальный ущерб, тыс. руб.**	**Общий материальный ущерба, %**	**Число погибших людей при пожарах электро-оборудования, чел.**	**Общее число погибших при пожарах, %**
2009	41 255	21,99	3 217 809	28,75	2015	14,45
2010	42 063	23,43	5 863 169	40,26	2114	16,19
2011	40 892	24,27	4 502 537	24,96	1991	16,57
2012	40 891	25,1	5 366 722	34,2	1974	16,94
2013	40 388	26,31	4 523 022	30,39	1858	17,53
2014	40 871	27,1	6 517 358	35,72	2002	19,74
2015	40 767	27,94	8 073 903	35,95	1879	19,98
2016	41 317	29,62	5 435 092	40,5	1908	21,81
2017	40 528	30,51	5 468 025	39,72	1765	22,58
2018	41 763	31,68	6 245 827	40,25	1901	24,04

Из таблицы 1.2 следует, что в среднем за десятилетний период по причинам, связанным с электрооборудованием и электроустановками, происходило 41 074 пожара в год, что составило 26,8 % от усредненного по годам количества всех пожаров по Российской Федерации. Прямой материальный ущерб в среднем составил 5 521 346 тыс. руб. в год, это 35,1 % от общего ущерба по всем причинам пожаров в стране. Показатель гибели людей находится на уровне 1941 человек в год или приблизительно 19 % от общего количества погибших на пожарах.

Таким образом, на электроэнергетических объектах ЕЭС России остаются высокими уровни аварий и пожаров, причинами которых являются:

– рост потребления электроэнергии;

– высокий коэффициент износа электрооборудования;

– нарушения правила эксплуатации оборудования;

– снижение темпов профилактических ремонтов и ряд других причин.

Такие пожары электроэнергетических объектах ЕЭС России сопровождаются существенным материальным ущербом, травматизмом и гибелью людей

В качестве примеров можно привести ряд крупных пожаров, произошедших на объектах энергетики России и стран ближнего зарубежья (рисунок 1.6; таблица 1.3).

Приведенные примеры и данные статистики по причинам и последствиям пожаров на объектах электроэнергетики свидетельствуют в пользу актуальности выбранной темы исследования.

Тушение пожаров на объектах электроэнергетики предусматривает повышенную опасность из-за воздействия на участников тушения не только опасных факторов пожара, но и сопутствующих угроз:

– обрушения строительных конструкций;

– поражения электрическим током;

– взрыва;

– воздействия отравляющих веществ, выбросов пара и др.

При этом возможно травмирование или даже гибель не только персонала энергетических предприятий, но и сотрудников ГПС. Так, по данным ФКУ Национальный центр управления в кризисных ситуациях МЧС России (НЦУКС), за период с 2008 по 2018 гг. при пожарах на объектах энергетики погибло 4 и получили травмы более 50 сотрудников противопожарной службы.

а

б

в

г

д

е

Рисунок 1.6 — Пожары и их последствия на объектах энергетики:
а — Каширская ГРЭС; *б* — Углегорская ГРЭС;
в — подстанция «Чагино»; *г* — подстанция «Ясная поляна»;
д — Пензенская ТЭЦ № 2; *е* — Улан-Удэнская ТЭЦ № 1

Таблица 1.3 — Пожары и аварии на энергетических объектах России и стран ближнего зарубежья

Дата/ссылка на источник	Объект электроэнергетики единой энергетической системы России	Причина аварии и пожара	Последствия	Прямой и косвенный ущерб	Гибель и травматизм людей
05.10.2002 [64, 65]	Каширская ГРЭС № 4, г. Кашира, Московская обл.	Усталостное разрушение ротора генератора турбоагрегата № 4	1. Пожар масляного хладогента электротурбоагрегата. 2. Разрушение кровли машзала на площади 1800 м^2. 3. Отключение 3-х энергоблоков	1 млрд руб.	Пострадавших нет
15.11.2003 [66]	Экибастузская ГРЭС №1, г. Экибастуз, Павлодарская обл., Республика Казахстан	Взрыв пара на блоке № 3	1. Обрушение кровли машзала. 2. Пожар кабельного хозяйства. 3. Остановка 2-х энергоблоков	660 млн тенге (около 140 млн руб.)	1 человек погиб
25.05.2005 [67]	Электроподстанция «Чагино», г. Москва	Износ оборудования высоковольтных трансформаторов и масляных выключателей	1. Пожар на 4-х трансформаторах. 2. Длительное прекращение электроснабжения в ряде районов г. Москвы, Московской, Тульской, Калужской, Рязанской областей. 3. Нарушение деятельности социально значимых объектов, инфраструктуры, транспорта, промышленности	2,2 млрд руб. (только для Москвы и Московской обл.)	Пострадавших нет
20.12.2006 [68]	Рефтинская ГРЭС, г. Екатеринбург, Свердловская обл.	Короткое замыкание в блочном трансформаторе	1. Пожар обмоток генератора турбоагрегата. 2. Обрушение кровли машзала на площади 2500 м^2. 3. Остановка 3-х энергоблоков	237 млн руб.	Пострадавших нет
09.02.2008 [69]	Улан-Удэнская ТЭЦ № 1, г. Улан-Удэ, Республика Бурятия	Короткое замыкание силовых кабелей	1. Взрыв с последующим пожаром. 2. Обрушение кровли машзала на площади 1000 м^2. 3. 180 тыс. человек остались без ГВС на сутки. 4. Введен 7-дневный режим ЧС	600 млн руб.	Пострадавших нет
30.03.2013 [70]	Углегорская ТЭС, г. Светлодарск, Донецкая обл., Украина	Загорание угольной пыли в котельном отделении	1. Пожар и обрушение кровли машзала. 2. Выход из строя всех энергоагрегатов	21 млн долл. США (около 670 млн руб.)	1 человек погиб, 5 травмировано

1.2 Проблемы обеспечения электробезопасности при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики

Профессия пожарного входит в двадцатку профессий, сопряженных с высоким риском для здоровья и жизни. Проблеме безопасности сотрудников и работников пожарно-спасательных подразделений МЧС России при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ уделяется особое внимание. Одним из аспектов этой проблемы является обеспечение электробезопасности личного состава при тушении электроустановок и электрооборудования на объектах энергетики. В этом случае в основном защита от поражения электрическим током (электрической дугой) обеспечивается снятием напряжения и остаточного электрического заряда с электроустановки. Однако бывают ситуации, когда личный состав пожарно-спасательных подразделений подвергается риску поражения электрическим током:

1) электроустановка или электрооборудование не могут быть обесточены;

2) при случайном контакте с токоведущими частями, находящимися под напряжением;

3) вследствие нарушения правил безопасности.

Намеренная необходимость тушения электроустановок под напряжением может возникнуть для электроприемников первой категории надежности электроснабжения в соответствии с пп. 1.2.18. «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) [71]. «Электроприемники первой категории — электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства в целях предотвращения угрозы жизни

людей, взрывов и пожаров». Словосочетание «останов производства» употреблено в значении «безаварийная остановка производственного цикла на предприятии».

К электроприемникам первой категории можно отнести некоторое электрооборудование АЭС. По информации из [72, 73] до 30 % помещений с электроустановками на АЭС содержит оборудование напряжением от 0,4 до 6,3 кВ, отключать которое во время пожара нельзя из-за требований безопасности.

Случайный контакт с токоведущими частями электроустановки и электрооборудования может возникнуть либо в результате неверной оценки обстановки на пожаре, либо в случае попадания токопроводящих струй огнетушащих веществ на скрытую проводку или на оборудование, с которого не снято напряжение.

Высокую опасность при тушении пожаров представляют электроустановки напряжением свыше 1 кВ по следующим причинам.

1. Способность электроустановок напряжением свыше 1000 В поражать человека электрическим током на расстоянии (без прямого контакта) посредством электрической дуги.

2. Сила электрического тока, протекающего через человека при поражении от электроустановок напряжением свыше 1 кВ достигает иногда десятков и даже сотен ампер, а температура электрической составляет 4000 К, что за доли секунды приводит к ожогам III и IV степени и (или) электротравмам, несовместимым с жизнью.

3. При возникновении электрической дуги и ее воздействии на тело человека диэлектрические электрозащитные средства, применяемые в пожарной охране (перчатки, боты, резиновые ковры), бесполезны.

4. На объектах энергетики не все электроустановки можно отключать, а напряжение некоторых видов электрооборудования может достигать 6,3 кВ. Например, электропитание циркуляционных насосов первого контура

теплоносителя атомных реакторов АЭС. В этом случае тушение электроустановок под напряжением свыше 1 кВ становится актуальным.

5. Высоковольтные электроустановки после обесточивания находится под номинальным напряжением из-за скопившегося остаточного заряда, который пропорционален разности электрических потенциалов и емкости. Отключенная электроустановка без снятого электрического заряда способна поразить пожарных электрической дугой, если расстояние между телом человека и токоведущей частью электроустановки, находящейся под напряжением, менее безопасного.

Чем выше напряжение электроустановки, тем больше предельно допустимое расстояние. В таблице 1.4 из [74] приведены минимально безопасные расстояния до токоведущих частей электроустановок менее и свыше 1 кВ, то есть расстояния, уменьшение которых чревато электрическим пробоем.

Таблица 1.4 — Допустимые расстояния до токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением

Напряжение электроустановок, кВ	**Расстояние от работников и применяемых ими инструментов и приспособлений от временных ограждений, м**	**Расстояния от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении от стропов, грузозахватных приспособлений и грузов, м**
Высоковольтная линия до 1	0,6	1,0
Остальные электроустановки: До 1	Не нормируется (без прикосновения)	1,0
1 — 35	0,6	1,0
60 (постоянный ток) — 110	1,0	1,5
150	1,5	2,0
220	2,0	2,5
330	2,5	3,5
400 (постоянный ток) — 500	3,5	4,5
750	5,0	6,0
1150	8,0	10,0

Из таблицы 1.4 следует, что в ней указаны расстояния, преодолев которые между телом человека и токоведущей частью электроустановки возникает кратковременный электрический разряд ионизирующий воздух, а затем зажигается и тянется электрическая дуга. Длина уже горящей электрической дуги может на порядок превышать указанное в таблице 1.4 расстояние. Значения в

таблице 1.4 являются теми границами, пересекать которые запрещено, даже если процесс подачи огнетушащих веществ на тушение электроустановок под напряжением еще не начат (например, во время боевого развертывания).

Проблемы электробезопасности и электротравматизма являются предметом научно-исследовательской деятельности. Большой вклад в их изучение внесли профессора Р.Н. Карякин [75, 76], Р.Н. Никольский [77], А.И. Якобе [78], С.И. Коструба [79, 80], А.В. Полонский [81–86] и др. Из научных работ можно сделать вывод о том, что электротравматизм и случаи поражения человека электрическим током, являются следствием нарушений правил безопасности. При этом тяжесть исхода поражения и самих электротравм зависит от множества объективных и субъективных факторов и в каждом отдельном случае оценивается по-разному. Анализ научных работ в области электробезопасности показывает, что случаи электротравматизма являются следствием совпадения ряда факторов, повышающих вероятность поражения электрическим током, частота появления которых носит случайный характер. К таким факторам относятся:

1) наличие токопроводящей подстилающей поверхности (мокрый пол, земля), приводящей к возникновению зоны шагового напряжения на месте тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики;

2) возможное применение при тушении электроустановок воды с повышенной проводимостью (соленая или сильно загрязненная);

3) отсутствие у пожарного-ствольщика электрозащитного диэлектрического комплекта, что создает условия для протекания через его тело тока равного току утечки по струе огнетушащего вещества;

4) работа технических средств подачи огнетушащих веществ в режиме, при котором проводимость огнетушащих струй будет максимальной.

В настоящей работе учтены все перечисленные факторы, повышающие вероятность поражения личного состава электрическим током.

Электробезопасность личного состава пожарной охраны является ключевым фактором, влияющим на тактику тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики независимо от применяемых технических средств

пожаротушения и подаваемых огнетушащих веществ. Снижение вероятности поражения личного состава электрическим током, изучение возможности применения новых огнетушащих веществ и систем их подачи, учитывая эффективность их применения при тушении пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики, является движущей силой в научных исследованиях и определяет их актуальность.

1.3 Анализ методик исследования токопроводимости огнетушащих веществ

Большинство пожарных автомобилей используют для пожаротушения воду как наиболее распространенное, дешевое и эффективное огнетушащее вещество. В этой связи не теряет актуальность изучение в качестве средства тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики именно воды. Применение компактных и прерывистых струй воды для тушения электроустановок под напряжением изучалось ВНИИПО еще в 70–80-х гг. XX в. и привело к появлению «Методических рекомендаций» [1]. Не смотря на их датирование 1986 г., пожарная охрана пользуется ими до сих пор. В 2000-х гг. XXI в. инициатива по изучению электропроводности струй распыленной и тонкораспыленной воды перешла к Академии ГПС МЧС России. Для компактных, распыленных и тонкораспыленных струй установлены пригодные для практического применения зависимости тока утечки по струе от расстояния подачи, напряжения электроустановок, удельного сопротивления воды, диаметра выходного отверстия пожарного ствола, а в некоторых случаях и других параметров. Авторами научных работ [2–44, 87] неоднократно отмечалось, что наиболее перспективны для тушения пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики струи распыленной и тонкораспыленной воды по причине их низкой электропроводимости.

Проведем анализ известных методик определения токопроводимости струй огнетушащих веществ и выясним возможность их применения для струй температурно-активированной воды.

При рассмотрении этого вопроса прежде всего обратимся к классической теории электрических проводников. Предположим, что струя воды, выходящая из ствола компактна и однородна, т. е. сохраняет свою цилиндрическую форму и не разрушается по всей своей протяженности от среза сопла до токоведущих частей электроустановки, пожарный ствол заземлен, а сопротивление рукавной линии и тела человека бесконечно. В этом случае сопротивление струи выражается формулой

$$R = \rho \frac{l}{s}, \tag{1.1}$$

где R — сопротивление струи, Ом; l — длина струи, м; S — площадь сечения струи, м^2 ; ρ — удельное сопротивление струи, Ом · м.

Учитывая, что форма струи по всей длине цилиндрическая, площадь ее сечения будет равна:

$$S = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\pi}{4} d^2 = 0{,}7854 d^2 , \tag{1.2}$$

где S — площадь сечения струи (среза сопла ствола), м^2; r — радиус сечения струи (среза сопла ствола), м; d — диаметр струи (среза сопла ствола), м.

Допуская, что происходит тушение электроустановок постоянного тока, а струя воды обладает только резистивными свойствами, для нее справедлив закон Ома:

$$I = U/R , \tag{1.3}$$

где R — сопротивление струи, Ом; U — напряжение ЭУ постоянного тока, В; I — сила постоянного тока, протекающего по струе, А.

Выполняя совместное преобразование формул (1.1)–(1.3) в итоге получаем выражения для силы тока, протекающей по струе:

$$I = 0{,}7854 \frac{U d^2}{l \rho} \tag{1.4}$$

и длины струи:

$$l = 0{,}7854 \frac{U d^2}{I \rho} . \tag{1.5}$$

Из выражения (1.4) следует, что сила тока растет при увеличении напряжения электроустановки и диаметра струи (среза сопла ствола) и уменьшается при росте длины и удельного сопротивления струи.

Из выражения (1.5) следует, что длина струи увеличивается при росте напряжения электроустановки и диаметра струи (среза сопла ствола) и уменьшается при росте силы тока и удельного сопротивления струи.

В электроэнергетике применяется способ обмывки загрязненных изоляторов линий электропередач водой. В соответствии с [74] минимально допустимые расстояния по струе воды между насадкой и обмываемым изолятором можно определить из таблицы 1.5.

Таблица 1.5 — Минимально допустимые расстояния по струе воды между насадкой и обмываемым изолятором

Диаметр выходного отверстия насадки, мм	**Минимально допустимое расстояние по струе, м, при напряжении электроустановки, кВ**					
	До 10	**35**	**110–150**	**220**	**330**	**500**
10	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
12	3,5	4,5	6,0	8,0	9,0	10,0
14	4,0	5,0	6,5	8,5	9,5	11,0
16	4,0	6,0	7,0	9,0	10,0	12,0

При пересчете значений в таблице 1.5 по формулам (1.4) и (1.5) становится очевидным, что ток утечки по струе воды значительно больше безопасного неощутимого тока через тело человека в 0,5 мА. Так, при напряжении электроустановки 500 кВ, диаметре выходного отверстия насадка 10 мм и минимально допустимом расстояние по струе 8 м, при условии, что удельное сопротивление воды составляет 10 Ом · м сила тока, протекающего по струе, будет равна 0,491 А. Это значение гораздо больше допустимых пределов. Очевидно, что электробезопасность в этом случае достигается обязательным применением дополнительных электрозащитных средств таких, как: заземление, выравнивание потенциалов, диэлектрические электрозащитные средства и др. Из-за наличия вокруг транспортных средств (подъемник с люлькой, автоцистерна) и устройств их заземления зон шагового напряжения, а также выноса потенциалов на их корпуса, запрещено входить и выходить из кабин и перетаскивать рукавные линии во время процедуры обмывки.

Применение различных огнетушащих веществ и средств их подачи при тушении пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики хорошо изучено как во ВНИИПО, так и в Академии ГПС МЧС России.

В работе Н.В. Навцени [7] исследованы различные огнетушащие вещества огнетушителей. Используемый при этом экспериментальный стенд соответствует ГОСТ [88] (рисунок 1.7).

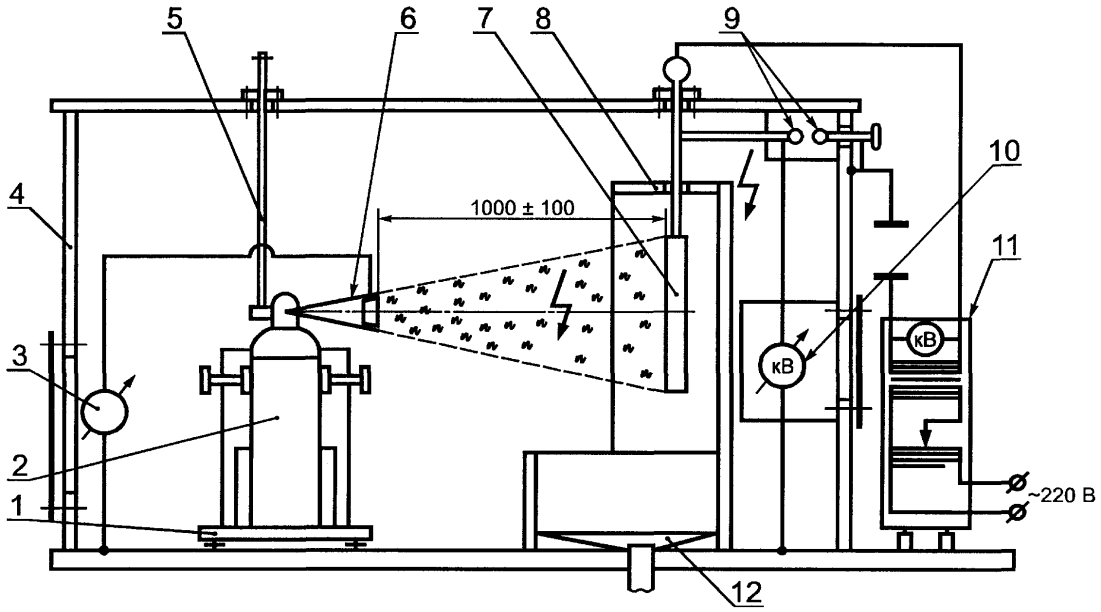


Рисунок 1.7 — Принципиальная схема испытательного стенда определения тока утечки по струе заряда огнетушителя [7, 88]:
1 — изолирующая подставка; *2* — испытываемый огнетушитель; *3* — измеритель тока утечки; *4* — защитный каркас испытательного стенда; *5* — устройство запуска огнетушителя; *6* — насадок огнетушителя с электропроводным элементом; *7* — мишень; *8* — экран; *9* — разрядник; *10* — киловольтметр; *11* — источник высокого напряжения; *12* — емкость для сбора отработанного огнетушащего вещества

Ток утечки по воздушному зазору и ток проводимости по зазору и струе для постоянного тока определяли по миллиамперметру, встроенному в выпрямитель аппарата, а для переменного тока — по выносному миллиамперметру. При этом струя огнетушителя направлялась на отполированную медную мишень, которая нагревалась до температуры 800 °С газовой горелкой. Во время испытаний каждого огнетушителя фиксировались: напряжение между корпусом огнетушителя и нагретой мишенью, время функционирования огнетушителя, токи утечки по воздушному зазору и струе, длина струи. Испытания проводились при температуре окружающей среды 15 °С и относительной влажности 55–70 %, скорость ветра достигала 0,5 м/с. В качестве источника тока высокого напряжения

(постоянного и переменного) в испытательном стенде использован аппарат испытания изоляции АИИ-70 (рисунок 1.8).

Рисунок 1.8 — Аппарат испытания изоляции АИИ-70

Предельно допустимое значение тока утечки по струе принималось равным 0,5 мА. Полученные результаты можно видеть в таблице 1.6 [7].

Таблица 1.6 — Результаты испытания огнетушителей на электропроводность струй

Тип огнету-шителя	**Заряд**	**Длинна струи огнету-шителя до мишени, мм**	**Время функциони-рования, с**	**Расход заряда, кг · с$^{-1}$**	**Напряжение между огнетуши-телями и мишенью, кВ**	**Крат-ность пены**	**Ток утечки, мА**	
							по воздуш-ному зазору	**по воздуш-ному зазору и струе**
ОВП-5	6 %-й раствор ПО-1	1000	30	0,166	1,5	76	0,005	2,25
ОВП-5	То же	700	28	0,178	10	76	0,02	2,51
ОВП-10	»	1000	70	0,143	1,5	80	0,005	1,5
ОВП-10	»	700	70	0,143	0,5	80	0,005	0,05
ОУ-2	CO_2	250	13	0,108	70	–	0,16	0,17
ОУ-5	CO_2	250	17	0,206	70	–	0,16	0,165
ОП-2	Порошок ПСБ-2	250	12	0,167	70	–	0,075	0,08
ОП-2	Порошок П-1	250	15	0,134	70	–	0,225	0,23

В таблице 1.6 приведены максимальные токи утечки по струе огнетушащего вещества огнетушителей при ее фиксированной длине и напряжении на мишени. Эти данные позволяют судить о применимости огнетушащих веществ различных типов огнетушителей для тушения электрооборудования под напряжением, однако не дают представления о динамике электрических процессов при изменении этих параметров. В итоге автором исследования [7] сделан вывод о том, что пенные огнетушители не могут использоваться для тушения электрооборудования под напряжением из-за неустойчивости структуры струи и скачков ее проводимости. Порошковые и углекислотные огнетушители безопасно применять с малых расстояний только для электроустановок напряжением меньше 1 кВ.

Использование в качестве огнетушащих веществ компактных струй воды и пены так же было исследовано во ВНИИПО (С.Н. Артюнов, С.Н. Копылов) с применением модифицированного под эту задачу экспериментального стенда [6, 87]. При этом был применен более детальный анализ по эмпирической методике. Полученный массив экспериментальных данных был подвергнут регрессионному анализу и обработке. В итоге зависимость расстояние от насадка-распылителя до мишени приобрела вид:

$$L = Kd\left(\frac{U_{\text{миш}}d}{\rho J_{\text{доп}}}\right)^{n}, \tag{1.6}$$

где L — расстояние от насадка-распылителя до мишени, м; K — коэффициент пропорциональности; d — диаметр насадка-распылителя, м; $U_{\text{миш}}$ — напряжение на мишени, В; ρ — удельное электросопротивление воды, Ом · м; $J_{\text{доп}}$ — предельно допустимый ток, А.

Коэффициенты пропорциональности K и n при этом можно найти по формулам

$$K = (7{,}733 - 0{,}7686\ln\rho)^2, \tag{1.7}$$

$$n = 0{,}2368 + 0{,}0026\sqrt{\rho}\ \ln\rho. \tag{1.8}$$

Если предположить, что для тушения пожаров электроустановок под напряжением используется сильно загрязненная водопроводная вода с

содержанием солей не менее 0,5 г/л и удельным сопротивлением 6,993 Ом · м, то формула (1.6) приобретает вид:

$$L = 39d\left(\frac{U_{\text{миш}}d}{\rho J_{\text{доп}}}\right)^{0,25}. \quad (1.9)$$

Эмпирическое выражение (1.9) применимо для быстрых практических расчетов минимальных расстояний подачи воды компактными струями для тушения электроустановок под напряжением с учетом допустимого тока утечки не более 0,5 мА и используемой для заправки пожарных автоцистерн пресной воды из любых источников. Вычисленный авторами методики [6, 87] доверительный интервал позволяет говорить о точности выражений (1.6)–(1.9) не менее 5 %. При пересчете по формулам (1.6)–(1.8) с другими исходными данными получаются результаты, представленные в таблице 1.7 [6, 87].

Таблица 1.7 — Значение безопасных расстояний при тушении электроустановок, находящихся под напряжением, водой и пенной смесью

Огнетушащее вещество	**Удельные сопротивления, Ом · м**	**Безопасные расстояния *L*, м**			
		$d = 10 \cdot 10^{-3}$	$d = 16 \cdot 10^{-3}$	$d = 19 \cdot 10^{-3}$	$d = 55 \cdot 10^{-3}$
Напряжение на мишени относительно земли 4 кВ					
Пена из 6 % водного раствора пенообразователя ПО-1 при кратности от 40 до 100	220–4500	2,166–1,779	7,721–,487	12,287–4,460	217,577–20,424
Дистиллированная вода	$1{,}32 \cdot 10^3$	2,094	5,151	7,159	54,84
Речная вода	10–100	3,541–1,906	6,389–3,607	7,928–4,553	30,116–19,254
Прудовая вода	40–50	2,301–2,179	4,234–4,030	5,259 -5,047	21,014–20,283
Грунтовая вода	20–70	2,806–2,027	5,101–3,786	6,347–4,758	24,524–19,543
Вода в ручьях	10 –60	3,541–2,092	6,389–3,889	7,928–4,879	30,116–19,828
Пенная смесь	18,52	2,875	5,222	6,495	25,035
Напряжение на мишени относительно земли 10 кВ					
Речная вода	10–100	4,476–2,643	8,076–5,000	10,021–6,313	38,069–26,693
Прудовая вода	40–50	3,022–2,891	5,561–5,5348	6,950–6,697	27,598–26,915
Грунтовая вода	20–70	3,599–2,741	6,543–5,119	8,141–6,433	31,454–26,425
Вода в ручьях	10–60	4,476–2,803	8,076–5,210	10,021–6,536	38,069–26,566
Пенная смесь	18,52	3,681	6,684	8,313	32,046

Окончание таблицы 1.1

Напряжение на мишени относительно земли 20 кВ					
Речная вода	10–100	5,344–3,384	9,642–6,402	11,965–8,082	45,452–34,177
Прудовая вода	40–50	3,714–3,581	6,834–6,624	8,541–8,295	33,917–33,337
Грунтовая вода	20–70	4,345–3,444	7,898–6,432	9,828–8,082	37,971–33,198
Вода в ручьях	10–60	5,344–3,497	9,642–6,501	11,965–8,155	45,452–33,146
Пенная смесь	18,52	4,436	8,057	10,021	38,627
Напряжение на мишени относительно земли 36 кВ					
Речная вода	10–100	6,211–4,173	11,206–7,894	13,905–9,967	52,824–42,145
Прудовая вода	40–50	4,423–4,293	8,139–7,942	10,173–9,945	40,397–39,970
Грунтовая вода	20–70	5,097–4,179	9,266–7,805	11,529–9,808	44,544–40,286
Вода в ручьях	10–60	6,211–4,219	11,206–7,843	13,905–9,839	52,824–39,988
Пенная смесь	18,52	5,198	9,439	11,740	45,256

Полученная в результате обработки опытных данных эмпирическая зависимость (1.6) минимального расстояния подачи компактных струй воды и пеной смеси имеет весьма схожую структуру с формулой (1.5). Однако есть и существенные отличия, связанные с особенностями примененного метода анализа и обработки опытных данных, и наличием в формуле (1.6) эмпирических коэффициентов. При подстановке в выражение (1.5) данных из таблицы 1.7 получаемые токи утечки по струям огнетушащих веществ гораздо больше 0,5 мА, т. е., как и в случае с данными из таблицы 1.5, руководствоваться сведениями можно только при условии использования дополнительных электрозащитных мер при тушении пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

В Академии ГПС МЧС России была продолжена работа по изучению токопроводимости струй различных огнетушащих веществ. В исследовании А.А. Колбасина [9–16] было проведено изучение токов утечки по струям распыленной, тонкораспыленной воды и пены на специально разработанном стенде [14], изображенном на рисунке 1.9.

В качестве мишени применена стальная сетка, закрепленная на изоляторах типа ИОС-110-400, установленных на металлических пластинах размером 300×500 мм. Мишень соединена силовым кабелем с источником высокого напряжения, в качестве которого используется аппарат испытания диэлектриков

АИД-70М. Для установки испытываемого пожарного ствола была изготовлена изолированная опора. Она состоит из выдвижной треноги с универсальными креплениями для ручных пожарных стволов, установленной на треугольной металлической пластине через изоляторы ИОС-10. Для вывода измеряемого параметра тока утечки применяется цифровой мультиметр модели *Fluke 15B,* диапазон измерений переменного тока от 0,1 мкА до 10 А. Измерение гидравлических характеристик насосно-рукавной системы осуществляется при помощи расходомера *Flowmaster 250,* который подсоединяется в рукавную линию от ручного ствола к напорному патрубку насоса пожарного автомобиля. Все элементы стенда по отдельности надежно заземлены медными проводами сечением 4 мм.

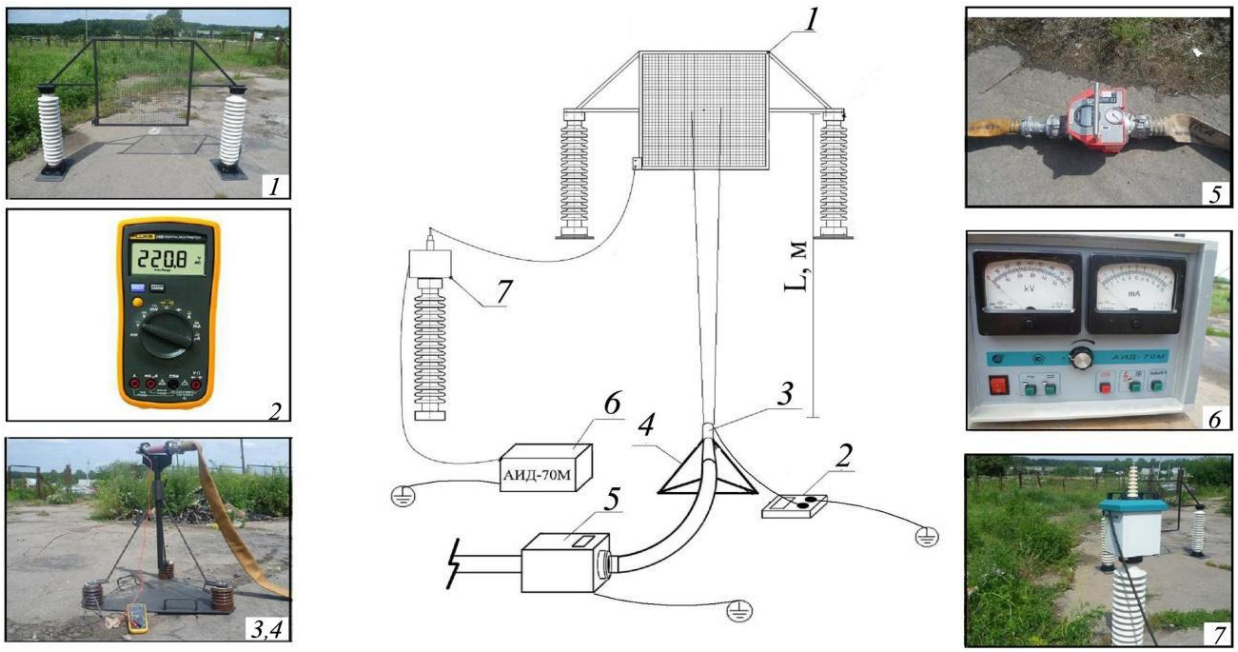
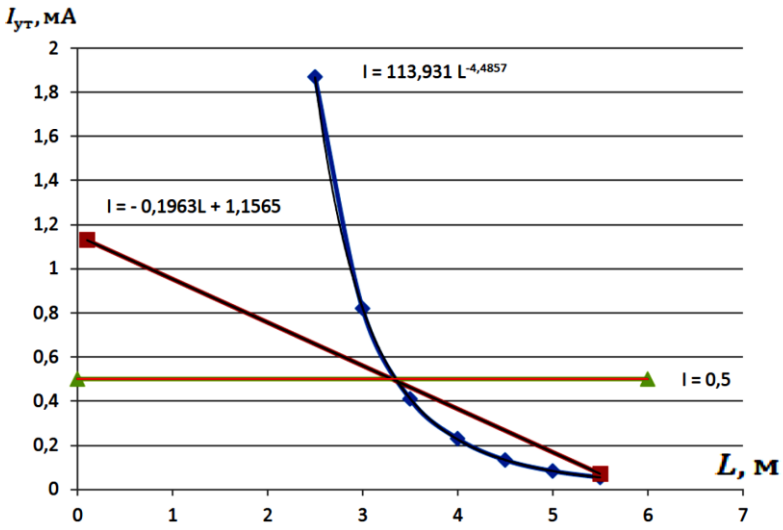


Рисунок 1.9 — Принципиальная схема стенда по определению тока утечки по струе огнетушащего вещества из ручных пожарных стволов [14]:
1 — мишень; *2* — цифровой мультиметр; *3* — испытываемый пожарный ствол; *4* — изолированная опора для установки пожарного ствола; *5* — расходомер; *6*, *7* — аппарат испытания диэлектриков АИД-70М

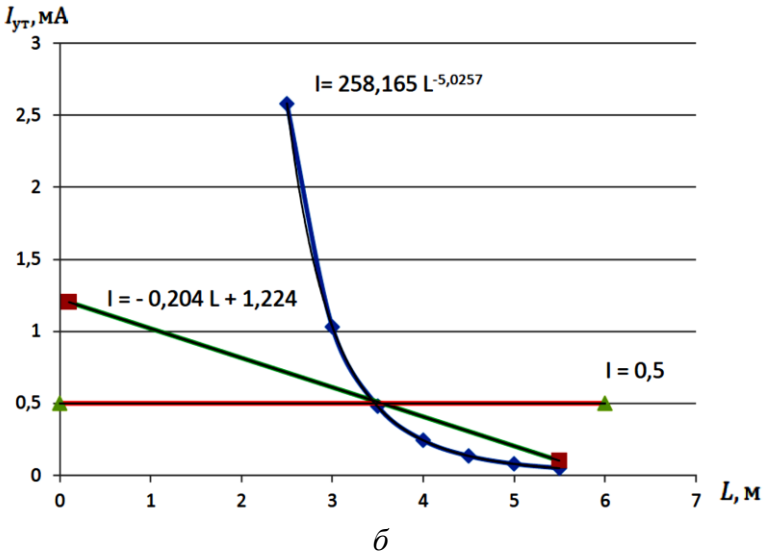
В результате проведенных экспериментальных исследований был подтвержден тезис о том, что пенные струи, полученные из ручных пеногенераторов (например пожарный ствол с пенной насадкой КУРС-8 и Пурга-2), не применимы для тушения электрооборудования под напряжением из-за повышенной проводимости и неприемлемо большого тока утечки через тело человека.

Было установлено, что тонкораспыленная вода обладает пониженной электропроводностью и имеет хорошие перспективы в качестве средства тушения электроустановок под напряжением. Максимальный ток утечки по струе тонкораспыленной воды при установке ствола УПТВ 50/120 на расстоянии 1 м до мишени под напряжением 50 кВ составляет 37,7 мкА.

А.А. Колбасиным были исследованы пожарные стволы моделей РС-50 с диаметром насадка 13 мм и РС-70 с диаметром насадка 19 мм как наиболее популярные в противопожарной службе модели, а также в целях проверки данных, ранее полученных в исследованиях [6, 7, 87]. Результатом стали линейные и степенные зависимости токов утечки со стволов на землю от расстояния подачи струи (рисунок 1.10).



а



б

Рисунок 1.10 — Степенные и линейные зависимости тока утечки с пожарных стволов на землю от расстояния до мишени под напряжением 36 кВ: *а* — ствол РС-50; *б* — ствол РС-70

Более детально рассматривались стволы с регулируемым расходом КУРС-8 и РСКУ-50А. В результате обработки полученных экспериментальных данных были получены зависимости:

– для ствола КУРС-8 с достоверностью 0,92 дисперсии тока

$$I = 5{,}845\frac{d^{3{,}79}U^{2{,}73}}{\rho L^{2{,}599}}\ ; \tag{1.10}$$

– для ствола РСКУ-50А с достоверностью 0,87 дисперсии тока

$$I = 18{,}56\frac{d^{3{,}91}U^{2{,}31}}{\rho L^{2{,}697}}\ , \tag{1.11}$$

где I — ток утечки со ствола на землю, А; d — положение регулятора расхода на стволе, мм^2; U — напряжение на мишени, В; ρ — удельное электрическое сопротивление, Ом·мм²/м; L — расстояние до мишени под напряжением, м.

Результаты вычислений безопасных расстояний, полученные с помощью выражений (1.10), (1.11) представлены в таблице 1.8 [9–16].

Таблица 1.8 — Значение безопасных расстояний при тушении водой электроустановок, находящихся под напряжением, с применением стволов РСКУ-50А и КУРС-8

Модель пожарного ствола	**Напряжение на мишени, кВ**	**Положение регулятора расхода, л/с**	**Минимальное безопасное расстояние подачи воды до электрооборудования под напряжением, м**
КУРС-8	10	2	0,39
		4	1,07
		8	2,94
	20	2	0,81
		4	2,22
		8	6,11
	36	2	1,49
		4	4,12
		8	11,32
РСКУ-50А	10	2	0,45
		4	1,22
		8	3,33
	20	2	0,81
		4	2,21
		8	6,04
	36	2	1,33
		4	3,65
		8	9,98

Необходимо отметить, что зависимости (1.10) и (1.11) имеют структуру, схожую с аналитическим выражением (1.4), хотя и отличаются наличием

эмпирических коэффициентов. Это показывает, что в выражениях (1.10) и (1.11) учтены основные величины, от которых зависит ток утечки.

В.Д. Федяевым в работах [13–27] было проведено исследование компрессионной пены (CAFS) на токопроводимость ее струи. Впервые была установлена возможность эффективного и безопасного ее применения для тушения электрооборудования под напряжением.

Для эмпирического исследования использовался стенд из [14] с небольшой модификацией, позволяющей снимать показания миллиамперметра модели Unit UT60A с помощью ноутбука.

При проведении испытаний использовалась установка пожаротушения компрессионной пеной NATISK-300M [18] (рисунок 1.11).

Рисунок 1.11 — Установка пожаротушения компрессионной пеной Natisk-300M:
1 — емкость для воды; *2* — пенобак; *3* — баллон сжатого воздуха; *4* — редуктор давления; *5* — выходной патрубок; *6* — заправочный патрубок; *7* — комплект пожарных рукавов

В результате обработки массива опытных данных были получены следующие показатели степенной функции зависимости тока утечки от расстояния и кратности пены при различных напряжениях на мишени:

– при напряжении U = 30 кВ (достоверность R = 0,95)

$$I = 6{,}3 \cdot L^{-3{,}24} K\ ; \qquad (1.12)$$

– при напряжении U = 20 кВ (достоверность R = 0,94)

$$I = 5{,}76 \cdot L^{-3} K\ ; \tag{1.13}$$

– при напряжении U = 10 кВ (достоверность R = 0,93)

$$I = 4{,}5 \cdot L^{-2{,}7} K\ . \tag{1.14}$$

Далее для определения безопасных расстояний подачи компрессионной пены при тушении пожаров электроустановок под напряжением, автор рекомендует воспользоваться преобразованной формулой (1.13), в окончательном виде:

$$L = \sqrt[-3]{\frac{I}{39{,}621 \cdot UK}}\ , \tag{1.15}$$

где L — безопасное расстояние подачи CAFS, м; I — ток утечки со ствола на землю, А; U — напряжение на электроустановке, В; K — кратность пены.

Результат, полученный с использованием выражения (1.15) представлен в таблице 1.9 [17–27].

Таблица 1.9 — Значения безопасного расстояния в зависимости от напряжения на электроустановке и кратности компрессионной пены

Напряжение, кВ	**Кратность компрессионной пены**									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	Минимальное безопасное расстояние, м									
0,2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1
0,4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2
0,6	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2
1	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2
2	5	5	5	5	4	4	4	4	3	3
3	Запрещается к использованию					5	4	4	4	3
4						5	5	4	4	3
5						5	5	5	4	3
6						6	5	5	4	3
10						7	6	6	5	4
20						8	8	7	6	5
30						10	9	8	7	6

В работах И.А. Гусева [28–44] изучена токопроводимость струй воды и ее смеси с абразивом в целях выработки технических требований к робототехнике. Для эмпирического исследования использовался экспериментальный стенд из [14] без каких-либо доработок.

После обработки полученных экспериментальных данных были предложены аналитические выражения для определения токов утечки по струям воды и ее смеси с абразивом в зависимости от расстояния и напряжения:

– для воды

$$I = 24{,}05\frac{U^{0,9}}{L^{0,95}}\ ; \tag{1.16}$$

– для смеси воды и абразива

$$I = 8{,}17\frac{U^{1,1}}{L^{0,8}}\ . \tag{1.17}$$

Рассчитанные значения токов утечки по выражениям (1.16) и (1.17) представлены на рисунке 1.12.

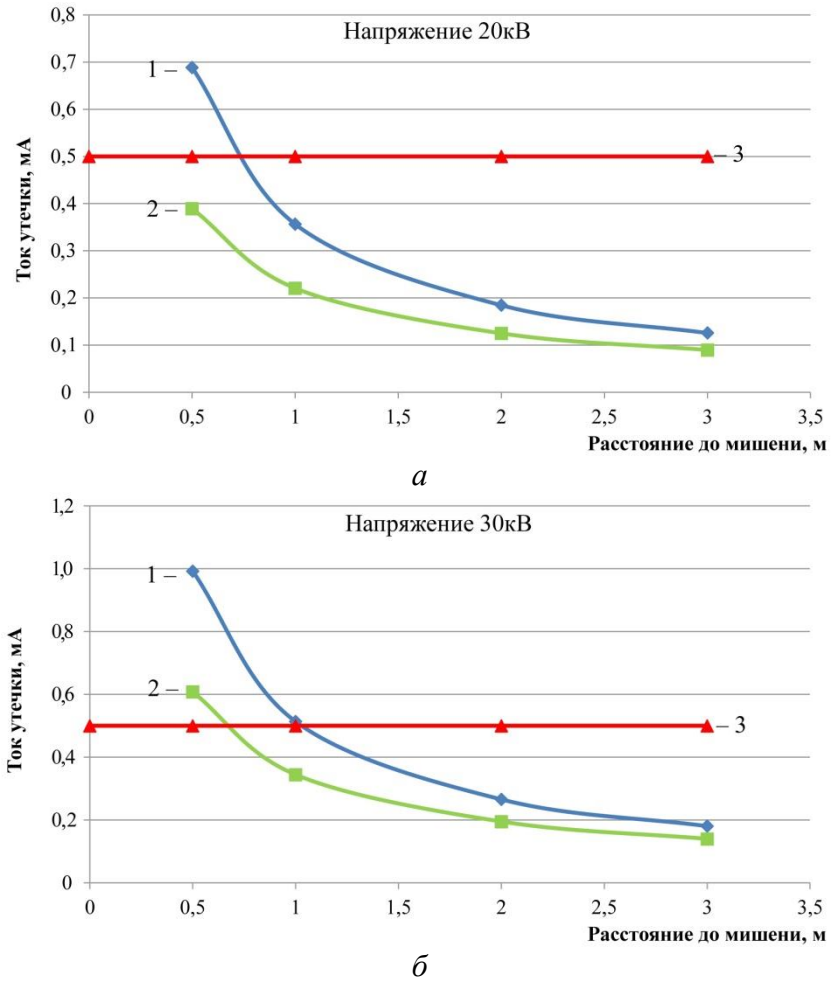


Рисунок 1.12 — Расчетные значения тока утечки для воды и смеси воды и абразива при напряжении 20 кВ (*а*) и 30 кВ (*б*):
1 — зависимость тока утечки для воды; *2* — зависимость тока утечки для смеси воды и абразива; *3* — граничный ощутимый ток для человека

Стоит заметить, что В.Д. Федяев и И.А. Гусев не связывают ток утечки со ствола на землю с удельным сопротивлением компрессионной пены, воды или абразивной смеси, а также с диаметром выходного отверстия ствола, поэтому структуры выражений (1.15)–(1.17) кардинально отличаются от формул (1.4), (1.9), (1.10), (1.11). Кроме того, сами выражения (1.9), (1.10), (1.11), (1.15)–(1.17) не совпадают в эмпирических коэффициентах, что говорит об аппроксимации ими только частных конкретных случаев тушения электроустановок под напряжением с узкими граничными условиями (применение определенных огнетушащих веществ и технических средств их подачи).

Все упомянутые исследования токопроводимости струй различных огнетушащих веществ объединяет общность методики, которую можно назвать эмпирической. Для эмпирического направления исследования ключевым моментом является создание экспериментального высоковольтного стенда, имитирующего тушение электроустановок под напряжением. В [14] электроустановка под напряжением работает в интервале напряжений от 1 до 50 кВ переменного тока, в ее конструкции использован аппарат испытания диэлектриков АИД-70М. Для проведения исследования выбираются огнетушащие вещества и способы их подачи. Средства подачи располагают на разных расстояниях от мишени, имитирующей электроустановку под напряжением. Подают огнетушащее средство и при этом измеряют ток утечки через струю огнетушащего вещества, ствол и тело пожарного-ствольщика на землю. Таких измерений производится несколько десятков или даже сотен серий, при этом изменяют расстояние и напряжение на имитаторе электроустановки. Процесс получения данных может быть трудоемким, долгим и затратным (с учетом расхода огнетушащих веществ и топлива на работу пожарной техники). Полученные таким образом данные являются случайными величинами, которые верны с некоторой долей вероятности и имеют, как правило, нормальное распределение. Величина тока утечки со ствола на землю может зависеть от:

– напряжения электроустановки — U;

– расстояния от ствола до электроустановки — L;

– удельного сопротивления огнетушащего вещества — ρ;

– диаметра выходного отверстия ствола — d как в выражениях (1.9)–(1.11).

Иногда используются и другие параметры [24–25, 27–32], например кратность пены (1.12)–(1.14), расход огнетушащих веществ, пренебрегая при этом некоторыми из перечисленных величин (1.16), (1.17). Упомянутые величины являются статистически независимыми, от которых зависит искомая величина тока утечки. На основании этого для обработки экспериментальных данных применяется регрессионный анализ [89–92], а получаемая эмпирическая формула в общем случае имеет довольно простой вид:

$$I = \frac{k d^{\alpha} U^{\gamma}}{L^{\beta} \rho^{\delta}}, \tag{1.18}$$

где $k, \alpha, \beta, \gamma, \delta$ — эмперические расчетные коэффициенты.

Зависимость тока утечки может иметь и отличный от (1.18) вид, например, линейный или степенной. Решающим параметром в выборе формы зависимости является точность получаемых результатов. После подбора аналитического выражения на основе анализа его достоверности вычисляют минимальное безопасное расстояние от ствола до электроустановки при применении соответствующего огнетушащего вещества и средства его подачи, исходя из того, что безопасный ток через тело человека не может превышать 0,5 мА (ток утечки на землю).

Использование эмпирического метода исследования в [9–44] позволило:

– доработать методические рекомендации [1] для стволов с регулируемой подачей воды;

– подтвердить тезис о невозможности использования пеногенераторов и пен низкой, средней и высокой кратности при тушении электроустановок под напряжением из-за высокой электропроводимости их струй;

– доработать специализированный ствол с эвольвентными форсунками для подачи распыленной воды на тушение электроустановок под напряжением;

– обосновать пригодность применения компрессионной пены (CAFS) для тушения пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики;

– предложить конструкцию специализированного пожарного автомобиля для электроэнергетических предприятий;

– обосновать технические требования к устройствам автоматической защиты для робототехники.

Необходимо отметить высокую практичность и простоту применения полученных в результате эмпирического исследования табличных данных по использованию различных стволов и огнетушащих веществ при тушении электроустановок под напряжением.

Несмотря на несомненные достоинства эмпирического метода исследования процесса тушения электроустановок под напряжением необходимо отметить и некоторые его проблемные стороны и особенности. Как отмечалось выше, эмпирический способ исследования основан на обработке экспериментальных данных, и от того, при каких условиях они получены, зависит результат регрессионного анализа. Таким образом, условия проведения самого эксперимента должны быть максимально приближены к реальности. Проблемная сторона вопроса заключается в том, что эмпирические формулы не учитывают изменение условий при тушении пожаров электроустановок под напряжением. Они получены в результате рассмотрения частного случая с ограниченными внешними условиями, которые должны совпадать с экспериментальными условиями на протяжении всего процесса тушения электроустановок. Например, не исключена ситуация, когда пожарный-ствольщик может оказаться на мокрой поверхности с высокой электропроводимостью, так как при тушении электроустановок неизбежны проливы воды на несущую поверхность (земля, пол и т. п.). В результате протекающий через тело человека ток может резко возрасти и превысить безопасные значения, вопреки результатам вычислений по эмпирической формуле.

Затруднение вызывает улучшение средств подачи огнетушащих веществ, так как эмпирические зависимости не раскрывают физику процессов на месте тушения электроустановок под напряжением и не дают ответа, как

минимизировать ток утечки, изменяя при этом конструкцию средств подачи огнетушащих веществ.

Всеми авторами исследований, использующих эмпирический метод, отмечается тот факт, что весьма перспективна для применение в качестве огнетушащего вещества при тушении электроустановок под напряжением не только распыленная, но и тонкораспыленная вода. Экспериментально установлено, что чем меньше концентрация и размер капель воды в струе огнетушащего вещества, тем ниже ее электропроводимость. Эмпирическая методика не дает объяснения физики этого процесса. Однако на основании экспериментальных данных можно выдвинуть гипотезу о том, что струи температурно-активированной воды будут иметь еще меньшую или сопоставимую электропроводимость со струями тонкораспыленной воды. Это предположение обосновывает актуальность исследования струй температурно-активированной воды для их безопасного применения при тушении пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

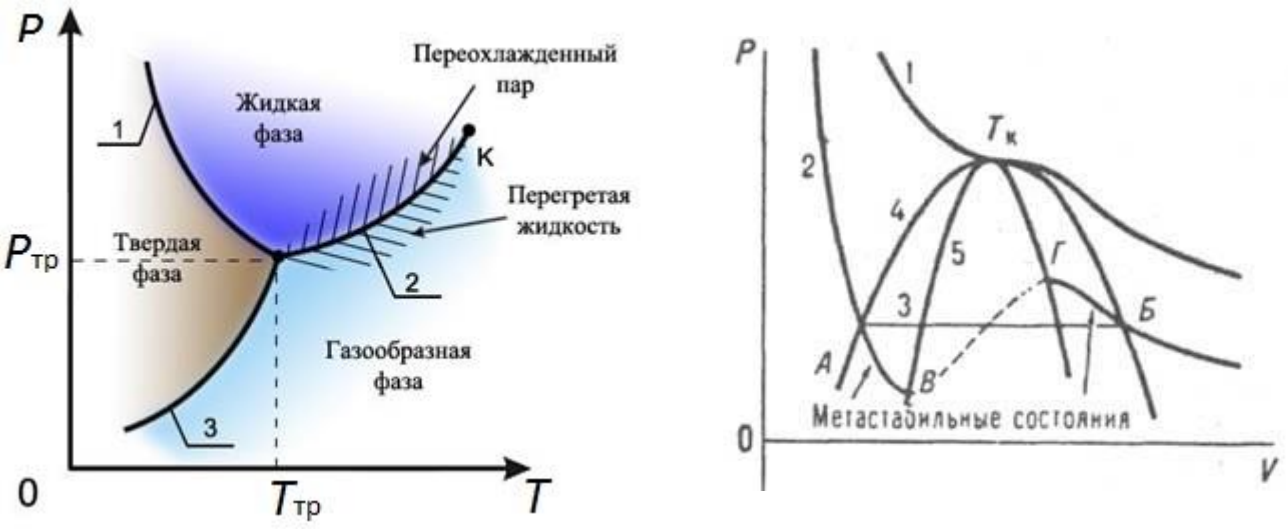
Рассмотрим физическую сущность, особенности и способы получения температурно-активированной воды.

1.4 Температурно-активированная вода и установка для ее получения

Термин «температурно-активированная вода» был впервые введен специалистами Академии ГПС МЧС России в 2005 г. [45–47]. Физическую сущность получения температурно-активированной воды можно уяснить при анализе *P–T* и *P–V* диаграмм фазовых состояний воды [100], изображенных на рисунке 1.13.

Для различных модификаций воды характерно существование метастабильных состояний, т. е. таких состояний, при которых одна фаза существует в области температур и давлений другой фазы. Такие же

метастабильные состояния существуют и для фазовых переходов из одного агрегатного состояния в другое.



а *б*

Рисунок 1.13 — Диаграммы фазовых состояний воды [100]:
а — диаграмма метастабильных состояний при фазовом переходе жидкость — газ;
б — зависимости *P*–*V* при $T_к$ (1) и меньше $T_к$ (2);
1 — кривая плавления; *2* —кривая испарения; *3* — кривая возгонки;
4 — бинодаль; *5* — спинодаль; $T_к$ — критическая температура; $T_{тр}$ — температура в тройной точке равновесия фаз; $P_{тр}$ — давление в тройной точке равновесия фаз;
К — критическая точка ($T_к$ = 647,35 К, $P_к$ = 218,5 атм);
ВГ — лабильные состояния (состояние неустойчивости не только к сильным, но и к слабым возмущениям); прямая 3 соединяет равновесные состояния жидкости и пара

На рисунке 1.13, *а* схематически изображены области метастабильных состояний при фазовом переходе жидкость — газ (вода — пар). Выше линии 2 находится область, соответствующая переохлажденному пару, а ниже — перегретой жидкости.

При конденсации пара (см. рисунок 1.13, *б*) область метастабильного состояния на диаграмме давление *P*–*V* расположена между бинодалью, т. е. кривой, соединяющей точки, отвечающие равновесным состояниям при разных температурах *T* для жидкости и пара (точки *А* и *Б* соответственно), и спинодалью — кривой, соединяющей точки, в которых $dP/dV = 0$ (точки *В* и *Г* соответственно).

В работах С.П. Храмцова [93–99] было установлено, что в метастабильном состоянии вода приобретает свойство повышенной растворяющей способности и снижается кинематическая вязкость воды, что способствует увеличению ее текучести. Снижение кинематической вязкости с увеличением температуры от 5

до 195° С почти на порядок, т. е. в 9,55 раз уменьшает трение воды о стенки рукавных линий при ее подаче к месту тушения, а также увеличивает скорость истечения из пожарных стволов.

Если вода была нагрета достаточно сильно (более 165 °С), то при резком уменьшении давления ее метастабильное состояние нарушается очень быстро, а закипание носит взрывной характер. В работах академика В.П. Скрипова [101] такое вскипание названо взрывным вскипанием. Вода с такими свойствами в работе академика Ф.А. Летникова [102] названа активированной, а сам процесс — температурной активацией.

Таким образом, температурно-активированная вода — это парокапельная смесь, полученная в результате мгновенного перехода (за время 10^{-4}–10^{-9} с) недогретой воды в область метастабильного состояния и последующего взрывного вскипания.

На сегодняшний день недогретую воду получают [48–57, 99, 103] с помощью установки пожаротушения температурно-активированной водой (УПТАВ), изображенной на рисунке 1.14.

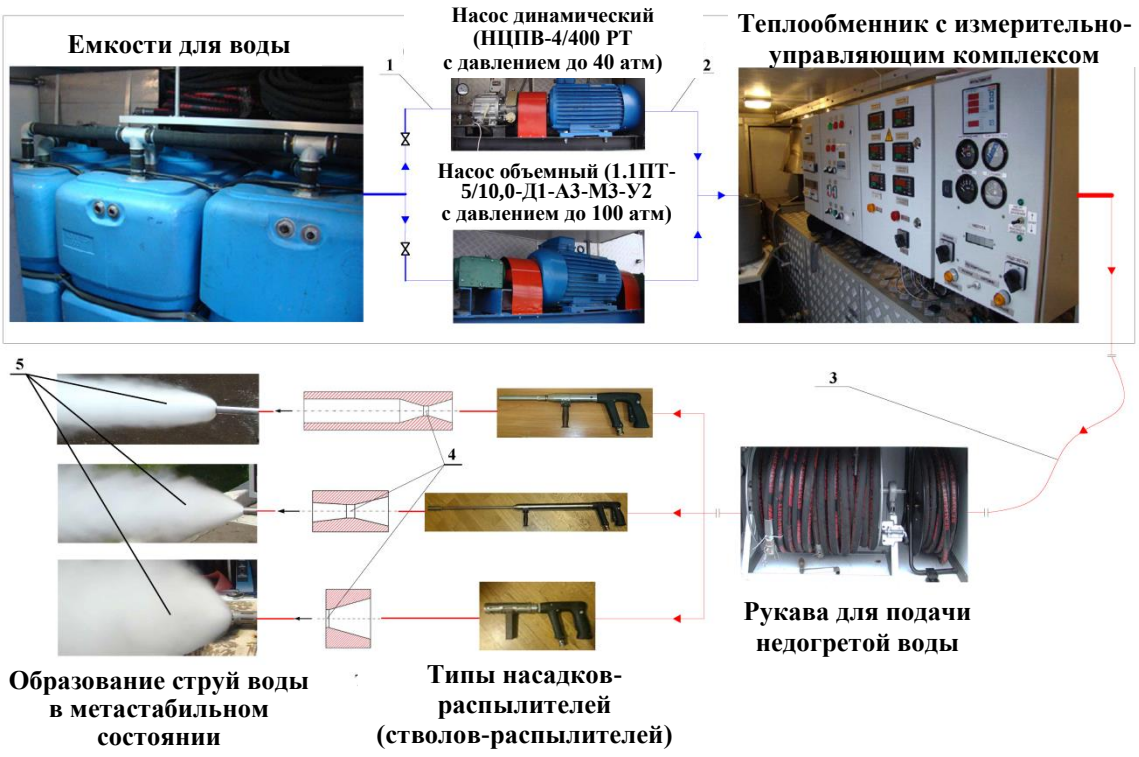


Рисунок 1.14 — Установка пожаротушения температурно-активированная вода (УПТАВ)

Вода температурой от 5 до 30 °С из емкости по трубопроводу *1* с расходом не менее 0,4 л/с поступает в насос, создающий избыточное давление не менее 4 МПа. Далее по трубопроводу *2* вода поступает в теплообменник, в котором она нагревается до температуры 210 °С (300 °С — в зависимости от вида УПТАВ) и становится недогретой водой. Затем без кипения недогретая вода по рукавной линии *3* подается к стволу.

В полости насадки ствола *4* давление воды резко падает, и на очень непродолжительное (10^{-4}–10^{-9} с) вода переходит в метастабильное состояние с последующим взрывным вскипанием в полости насадки *5* и превращается в парокапельную смесь, состоящую из пара и мелкодисперсных капель диаметром от 0,01 до 10,0 мкм.

В 2007–2008 гг. учеными Академии ГПС МЧС России был разработан и изготовлен АПМ 3-2/40-1,38/100-100(43118) модель ПиРо3-МПЗ, (АПМ), который с 2009 г. поступал в пожарные подразделения МЧС России для дальнейшего использования. АПМ изображен на рисунке 1.15 [100].

Струи температурно-активированной воды (рисунок 1.16) могут быть использованы для тушения практически всех видов горючих веществ, которые не вступают в химическую реакцию с водой с выделением большого количества тепла или горючих газов.

Рисунок 1.15 — Внешний вид АПМ 3-2/40-1,38/100-100 (43118) (мод. ПиРо3-МПЗ) [100]

а *б*

Рисунок 1.16 — Подача струй температурно-активированной воды [100]:
а — ствол-пика (сопло Лаваля) и насадка дымососа; *б* — ствол-пика (сопло Лаваля) и ствол-трансформер

Температурно-активированная вода используется для тушения пожаров класса А, В, С. Наиболее эффективно ее применение в замкнутых пространствах (помещения, сооружения и т. п.), так как образуется большой объем парокапельной смеси, которая эффективно осаждает дым и пары ядовитых веществ, а также вытесняет воздух, уменьшая тем самым процентное содержание кислорода в зоне горения. Витающие капли температурно-активированной воды и среда наполненная паром делает возможным объемное тушение кабельных тоннелей и коллекторов на объектах энергетики.

Использование струй температурно-активированной воды на объектах энергетики позволяет эффективно тушить завалы, внутри которых после пожара или чрезвычайных ситуаций продолжается горение или тление изоляционных материалов и могут находиться пострадавшие люди. Струи температурно-активированной воды уже на расстоянии примерно 30 см от ствола имеют температуру не выше 60 °С и не могут причинить вред человеку (рисунок 1.17).

Температурно-активированная вода позволяет обеспечить многофункциональность тушения не только по виду горючих материалов, но и по способу их тушения. Следует отметить, что при подаче температурно-активированной воды возможен как поверхностный, так и объемный способ пожаротушения.

Струи температурно-активированной воды имеют четыре принципиальных отличия от струй тонкораспыленной воды:

1) капли температурно-активированной воды окружает пар, а не воздух (в газообразный пар можно преобразовать до 30–40% недогретой воды);

2) размер капель температурно-активированной воды имеет бимодальное распределение (первая мода в диапазоне от 0,05 до 0,15 мкм, вторая — от 5,0 до 10 мкм);

3) диаметр капель температурно-активированной воды на один-два порядка меньше диаметра капель тонкораспыленной воды (диаметр большинства капель температурно-активированной воды находится в диапазоне от 0,01 до 10,0 мкм);

4) капли температурно-активированной воды находятся в метастабильном состоянии и имеют более выгодные для пожаротушения физико-химические свойства (например меньший коэффициент динамической вязкости).

а *б*

Рисунок 1.17 — Безопасность температурно-активированной воды для человека [100]:
а — нахождение руки человека в струе температурно-активированной воды;
б — измерение температуры температурно-активированной воды с помощью тепловизора

Кроме того, УПТАВ имеет преимущество по сравнению с установкой для получения тонкораспыленной воды при использовании ее в зимний период. Замерзание рукавных линий для подачи температурно-активированной воды невозможно. При отрицательных температурах рукава и стволы для подачи тонкораспыленной воды быстро промерзают, особенно при кратковременном перекрытии стволов.

При поверхностном способе тушения струи температурно-активированной воды не инжектируют воздух в зону горения, так как несущей средой для ее капель является пар, а не воздух, как в струях тонкораспыленной воды.

При тушении пожаров на объектах электроэнергетики возможно возникновение ситуации, когда огнетушащие вещества необходимо подавать на большие расстояния и высоты, что можно организовать с помощью АПМ, тогда как рукавные линии для подачи тонкораспыленной воды из-за большого гидравлического сопротивления подавать на большие расстояния не представляется возможным. Такой же недостаток, возникающий из-за падения давления в рукавной линии перед стволом [104], есть и у обычных пожарных автоцистерн, в которых в качестве средств создания распыленных струй используется модифицированный пожарный ствол Zerstäuberstrahlrohre mit Dralldüsen AWG [9–16].

Гипотеза о том, что струи температурно-активированной воды менее электропроводны и имеют ряд преимуществ по сравнению с тонкораспыленной водой, свидетельствует в пользу актуальности исследования в области применения температурно-активированной воды для тушения пожаров электроустановок под напряжением на объектах электроэнергетики.

1.5 Применение эмпирической методики к исследованию токопроводимости струй температурно-активированной воды и ее результаты

Испытания по определению тока утечки по струе температурно-активированной воды на землю по эмпирической экспериментальной методике, были сделаны на стенде из [14, 16] (см. рисунок 1.9) в июне 2015 г.

Принципиальная схема этого эксперимента представлена на рисунке 1.18. На схеме также показаны:

– первичные преобразователи (датчики) температуры;

– датчики давления;

– датчики расхода недогретой воды, соединенные с регистратором многоканальным технологическим РМТ 59 из [95] (рисунок 1.19).

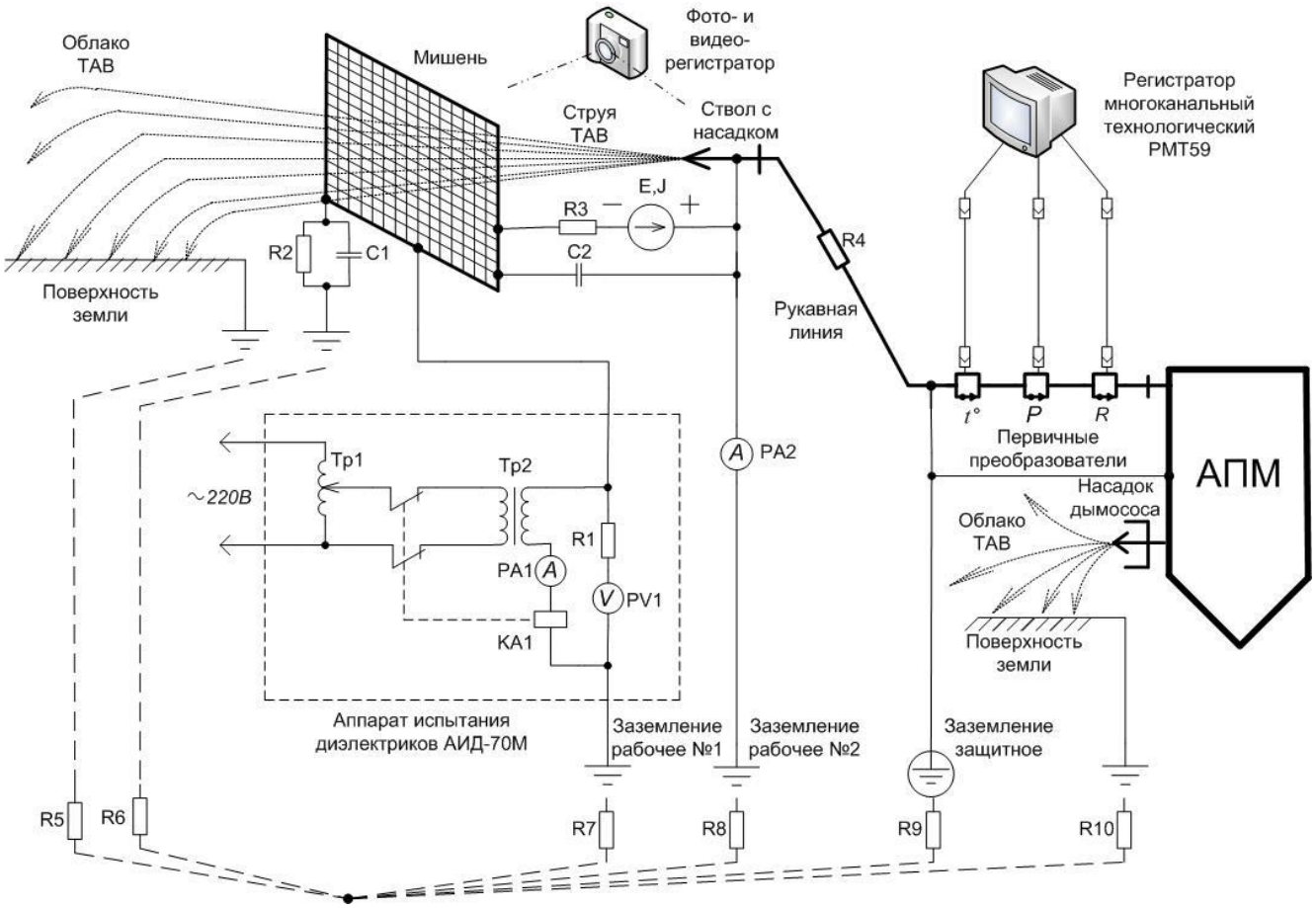


Рисунок 1.18 — Схема эксперимента по определению тока утечки
по струе температурно-активированной воды на землю:
ТАВ — температурно-активированная вода

а *б*

Рисунок 1.19 — Измерительный комплекс:
а — первичные преобразователи, подключенные к выходному патрубку АПМ;
б — регистратором многоканальным технологическим РМТ 59

В эксперименте недогретая вода по рукавным линиям высокого давления подавалась с помощью АПМ к дальнобойному стволу для магистральной линии. На схеме (см. рисунок 1.18), помимо приборов, изображены цепи электрического тока и их сопротивления R1–R10, а также электрические емкости между землей и мишенью С1 и мишенью и стволом С2.

При измерениях фиксировался ток утечки на землю от мишени через струю температурно-активированной воды и пожарный ствол по показаниям микроамперметра PA2 модели Unit UT60A. Напряжение и сила тока в цепи мишени отслеживались по показаниям собственных миллиамперметра PA1 и киловольтметра PV1 прибора АИД-70М. Весь процесс эксперимента снимался на фото- и видеокамеры (рисунок 1.20).

а *б*

Рисунок 1.20 — Проведение исследования тока утечки
по струе температурно-активированной воды:
а — работа дальнобойного ствола; *б* — общий вид экспериментального стенда

Полученные данные для дальнобойного ствола представлены в таблице 1.10.

Таблица 1.10 — Значения токов утечки со ствола на землю в зависимости от расстояния и напряжения на мишени

Расстояние до мишени, м	0,5	1,0	2,0
Напряжение на мишени, кВ	**Ток утечки с пожарного ствола на землю, мкА**		
10	321	391	444
10	322	390	446
10	317	389	442
10	321	390	440
10	322	387	441
10	321	386	442
10	318	383	443
10	317	384	444
10	318	383	441
10	316	383	442
20	305	342	427
20	306	343	426
20	308	345	428
20	308	343	425
20	307	346	423
20	308	345	428

Окончание таблицы 1.10

20	307	343	429
20	306	344	428
20	305	342	429
20	304	341	429
30	275	321	408
30	277	320	412
30	278	321	407
30	281	321	408
30	280	318	406
30	281	317	405
30	281	322	408
30	283	321	409
30	282	323	410
30	285	324	410

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы.

1. При расстоянии 0,5 м между стволом для подачи струи температурно-активированной воды и электрической мишенью, и напряжении между ними 30кВ, ток по струе не превышает максимальный ток аппарата АИД-70М в 20 мА и не вызывает электрического пробоя и срабатывания токовой защиты КА1.

2. При ступенчатом увеличении напряжения от 0 до 30 кВ с шагом в 10 кВ сила тока, протекающая через РА2 на землю, падает, а не растет, что противоречит закону Ома (1.3).

3. С ростом интенсивности подачи струи температурно-активированной воды на мишень сила тока, протекающая через РА1 на землю, уменьшается, как и при увеличении напряжения.

4. При увеличении расстояния от ствола до мишени сила тока, протекающая через РА1 на землю, увеличивается, что противоречит теории электрических цепей.

5. Сила тока, полученная при испытаниях, находилась в пределах значений от 0,1 до 0,45 мА, т. е. не достигала порогового значения ощутимого для человека тока в 0,5 мА.

Однако некоторые явления не позволяют однозначно трактовать результаты эксперимента. Так, например, на сетку мишень напряжение от прибора АИД-70М включалось только после того, как АПМ уже находился в режиме подачи недогретой воды к дальнобойному стволу. Если же сначала подавалось

напряжение, а затем струя температурно-активированной воды, это приводило к срабатыванию защиты КА 1 прибора АИД-70М. Это свидетельствует о том, что при замыкании струей электрической цепи в начальный момент происходит бросок тока, величина которого превышает ток в 20 мА срабатывания защиты КА1. Объяснение этому явлению можно найти, если обратится к теории электрических цепей и теоретическим основам электротехники [105]. При подаче электрической энергии на сетку мишень (без подачи струи температурно-активированной воды) происходит заряд электрических емкостей С1 и С2. Если теперь начать подавать струю температурно-активированной воды, то происходят переходные электрические процессы, сходные с таковыми в четырехполюсниках, состоящих из цепочек RC и колебательных контуров LC.

Следующим обнаруженным явлением, требующим объяснения, были противоречащие теории электротехники и закону Ома результаты измерения тока утечки по струе температурно-активированной воды. В проделанном эксперименте измеряемый ток уменьшается там, где по закону Ома должен был возрастать. Взрывное вскипание, происходящее в сопле ствола, приводит к трению образовавшихся капель температурно-активированной воды о стенки сопла и вызывает генерацию электрического тока. При этом капли температурно-активированной воды заряжаются отрицательно, а корпус АПМ — положительно. Объясняется это явление тем, что после температурной активации вода приобретает диэлектрические свойства и обладает повышенной диэлектрической проницаемостью. При этом из-за нагрева сопла ствола работа выхода электронов с его поверхности уменьшается, и они легко переходят на поверхность капель температурно-активированной воды, заряжая их при трении о металлические стенки сопла. На схеме (см. рисунок 1.18) это явление обозначено как источник электродвижущей силы (э.д.с) и тока.

Таким образом, ток и э.д.с генерируются в стволе с насадком для подачи температурно-активированной воды. Электризации капель воды в процессе их испарения коагуляции, конденсации и дробления посвящено множество статей и научных работ [106–119]. Авторами этих работ отмечается, что капли размером менее 10 мкм имеют отрицательный электрический заряд.

Сгенерированный струей температурно-активированной воды ток течет по рукавной линии, преодолевая ее сопротивление R4, и стекает через заземленный корпус АПМ на землю (см. рисунок 1.18). В земле ток разветвляется на несколько путей, но часть его протекает через рабочее заземление № 1 аппарата АИД-70М и через вторичную обмотку его повышающего трансформатора подается к мишени, которая заряжается отрицательно электронами, частично стекающими с отрицательно заряженных капель температурно-активированной воды. Аппарат испытания диэлектриков АИД-70М устроен так, что потенциал заземленного конца повышающего трансформатора аппарата равен нулю, а потенциал мишени подключенной ко второму концу трансформатора соизмерим с размахом синусоиды переменного тока частотой 50 Гц. По этой причине направление электрического тока, который генерирует АИД-70М, встречно электрическому току генерируемому струей температурно-активированной воды.
В принципиальной схеме микроамперметра РА2 присутствует мостовой выпрямитель, используемый при измерении силы тока. В итоге постоянные токи, полученные после выпрямления переменного тока генерируемого АИД-70М и струей температурно-активированной воды, вычитались, а их разница в экспериментах измерялась микроамперметром РА2. Этим объясняются те результаты, что при увеличении напряжения на мишени и интенсивности подачи струи температурно-активированной воды ток, стекающий со ствола на землю, не растет, а уменьшается. Этим же объясняется и увеличение тока, стекающего на землю при увеличении расстояния от ствола до мишени. Таким образом, никакого противоречия с законом Ома (1.3) нет.

На экспериментальные данные и их достоверность это явление влияет отрицательно, так как получающаяся постоянная составляющая электрического тока, сгенерированная струей температурно-активированной воды, не является стабильно постоянной, а имеет сильные флуктуации, носящие случайный характер и сильно «зашумляющие» показания микроамперметра РА2. По этой же причине скомпенсировать ток генерируемый струей температурно-активированной воды встречным постоянным током невозможно.

При проведении испытаний было обнаружено еще одно физическое явление. После прекращения подачи температурно-активированной воды из ствола и отключении аппарата АИД-70М ток через микроамперметр РА2 продолжал протекать в течение ≈ 15–20 мин. Объяснение этому заключается в следующем: струи температурно-активированной воды образуют устойчивое длительно витающее в воздухе облако отрицательно заряженных капель воды и водяного пара. Крупные капли оседают быстро, а поверхность земли с находящимися на ней предметами приобретает отрицательный электрический заряд. При этом остальные капли постепенно оседают под действием силы тяжести, но происходит этот процесс медленно по причине того, что отрицательно заряженные капли температурно-активированной воды отталкиваются друг от друга и заряженной поверхности земли. Иными словами, получаем электрический ток, причиной которого становится постепенное оседание заряженных капель температурно-активированной воды на поверхность земли под действием силы тяжести. Через землю этот ток в виде потока электронов попадает на положительно заряженный корпус АПМ и постепенно разряжает его в течение 15–20 мин, что и фиксируется миллиамперметром РА2.

Для подтверждения наличия обнаруженных электрических явлений был проделан повторный эксперимент, схема которого показана на рисунке 1.21.

В эксперименте струя температурно-активированной воды подавалась в закопанную в землю емкость объемом 4000 л. При этом в качестве ствола распылителя использовалась насадка дымососа для подачи температурно-активированной воды. Насадка дымососа изолировалась от заземленной емкости с помощью резиновых автомобильных скатов. В крышку, закрывающую насадок дымососа сверху, был установлен ствол для создания вокруг струи температурно-активированной воды завесы из распыленной воды, которая осаждала капли температурно-активированной воды, не давая им выйти за пределы емкости в атмосферу (рисунок 1.22, *а*). Измерения тока, его флуктуаций и напряжения, генерируемых струей температурно-активированной воды производились в цепях заземления корпуса АПМ. Для этого в качестве миллиамперметра и

милливольтметра использовалось два мультиметра модели DT-9205A и осциллограф модели С1-112А (рисунок 1.22, *б*).

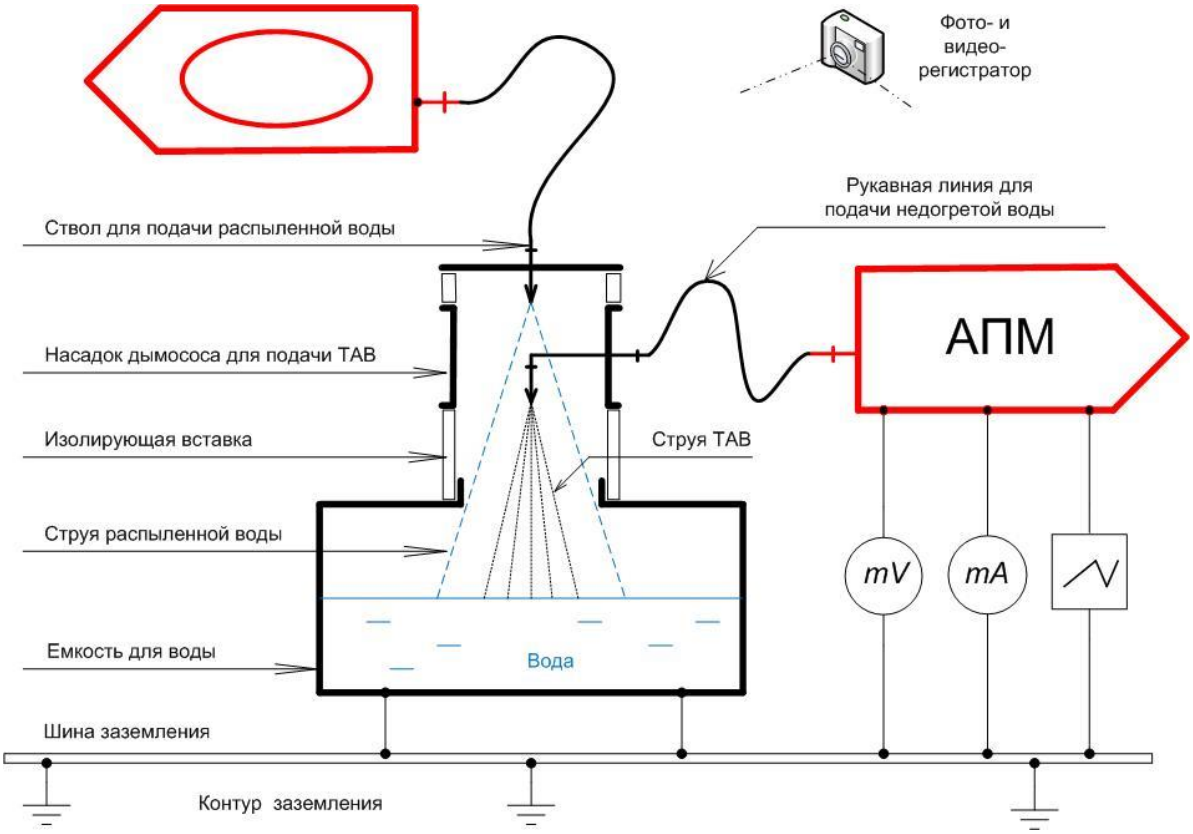


Рисунок 1.21 — Схема эксперимента, подтверждающего генерацию струей температурно-активированной воды постоянного электрического тока:
ТАВ — температурно-активированная вода

а *б*

Рисунок 1.22 — Проведение испытаний струи температурно-активированной воды на генерацию постоянного тока:
а — экспериментальный стенд; *б* — электроизмерительные приборы

Результаты измерений подтвердили генерацию нестабильного электрического тока струей температурно-активированной воды, а также направление его течения. Этот ток в отдельные моменты времени достигал величины в 0,2–1,0 мА, что, не позволяет достоверно измерять микроамперные токи утечки со ствола на землю при использовании экспериментального стенда с прибором АИД-70М [14, 16]. После прекращения подачи струи температурно-активированной воды электрический ток в цепях заземления АПМ сразу же прекращался, что объясняется отсутствием витания заряженных капель температурно-активированной воды в атмосфере. Напряжение между корпусом АПМ и контуром заземления при проведении измерений не превышало величину в 0,1 В. Низкое генерируемое напряжение не способствует накоплению на корпусе АПМ электрического заряда большой величины.

Выводы по первой главе

1. Высокая степень изношенности генерирующего и электросетевого оборудования ЕЭС России ведет к возникновению аварий и пожаров на объектах энергетики, которые сопровождаются прямым и сопутствующим материальным ущербом, травматизмом и гибели людей и другими тяжелыми последствиями.

2. Тушение пожаров на объектах электроэнергетики представляет повышенную опасность из-за риска поражения электрическим током. Анализ научных работ в области электробезопасности показывает, что случаи электротравматизма являются следствием совпадения ряда факторов, повышающих вероятность поражения электрическим током, которые должны быть учтены при теоретическом и экспериментальном исследовании огнетушащих веществ на токопроводимость.

3. Анализ научных работ посвященных изучению токопроводимости струй различных огнетушащих веществ и технических средств их подачи показал, что

все их объединяет общность методики основанной на опытных данных, которую можно назвать эмпирической методикой.

4. Авторы различных эмпирических исследований пришли к одному общему выводу, что наименее токопроводимы гетерогенные струи тонкораспыленной воды. Размер и концентрация капель температурно-активированной воды на порядок меньше капель тонкораспыленной воды, что позволяет выдвинуть гипотезу о низкой электропроводности ее струй, а значит высокой безопасности и эффективности их применения при тушении пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

5. Предварительные исследования струй температурно-активированной воды проведенные по эмпирической методике, показали, что:

– эмпирическая методика определения тока утечки по струе огнетушащего вещества для температурно-активированной воды не подходит по причине того, что при получении ее струй генерируется электричество, вносящее недопустимые искажения в результаты измерения;

– струи температурно-активированной воды могут использоваться для безопасного тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики, так как их электропроводность крайне низкая;

– необходима разработка нового метода изучения электропроводимости струй температурно-активированной воды, который должен быть основан на более глубоком анализе электрических процессов протекающих на месте тушения пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики;

– необходима разработка нового экспериментального стенда, позволяющего определить ток утечки через струю температурно-активированной воды без влияния электрического тока генерируемого самой струей.

ГЛАВА 2 МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТОКОПРОВОДИМОСТИ СТРУЙ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ

2.1 Анализ электрических процессов с применением комплексных сопротивлений на месте тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики

При тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики, личный состав, пожарно-техническое вооружение и пожарная техника находятся в зоне действия электромагнитных полей, излучаемых электроустановкой переменного тока [120, 121]. Электромагнитную обстановку на месте пожара можно описать, используя уравнения классической электродинамики, в основе которых лежат как уравнения Максвелла, так и материальные уравнения линейной изотропной среды [122–126].

Применяя эти выражения, можно найти протекающие токи и наводимые потенциалы в любом физическом теле, находящемся в электромагнитном поле, создаваемом электроустановкой под напряжением, в том числе в теле пожарного, струях огнетушащих веществ, пожарно-техническом оборудовании, насосно-рукавных системах, пожарной технике и т. п. Такой подход хотя и учитывает множество факторов, влияющих на конечный результат, и позволяет найти точные решения, но ведет к необходимости анализа сложной системы дифференциальных уравнений.

Для решения задачи нахождения тока, протекающего через струю огнетушащего вещества и пожарного, работающего со стволом, применим частный подход, основанный на ряде упрощений и допущений, но позволяющий с большой степенью достоверности получить требуемый результат. С этой целью необходимо составить эквивалентную электрическую схему, описывающую пути протекания тока от источника (электроустановка переменного тока) через струю огнетушащего вещества, пожарного, стоящего на токопроводящей поверхности

земли, заземленный пожарный ствол, насосно-рукавную систему, заземленный корпус пожарного автомобиля (рисунок 2.1).

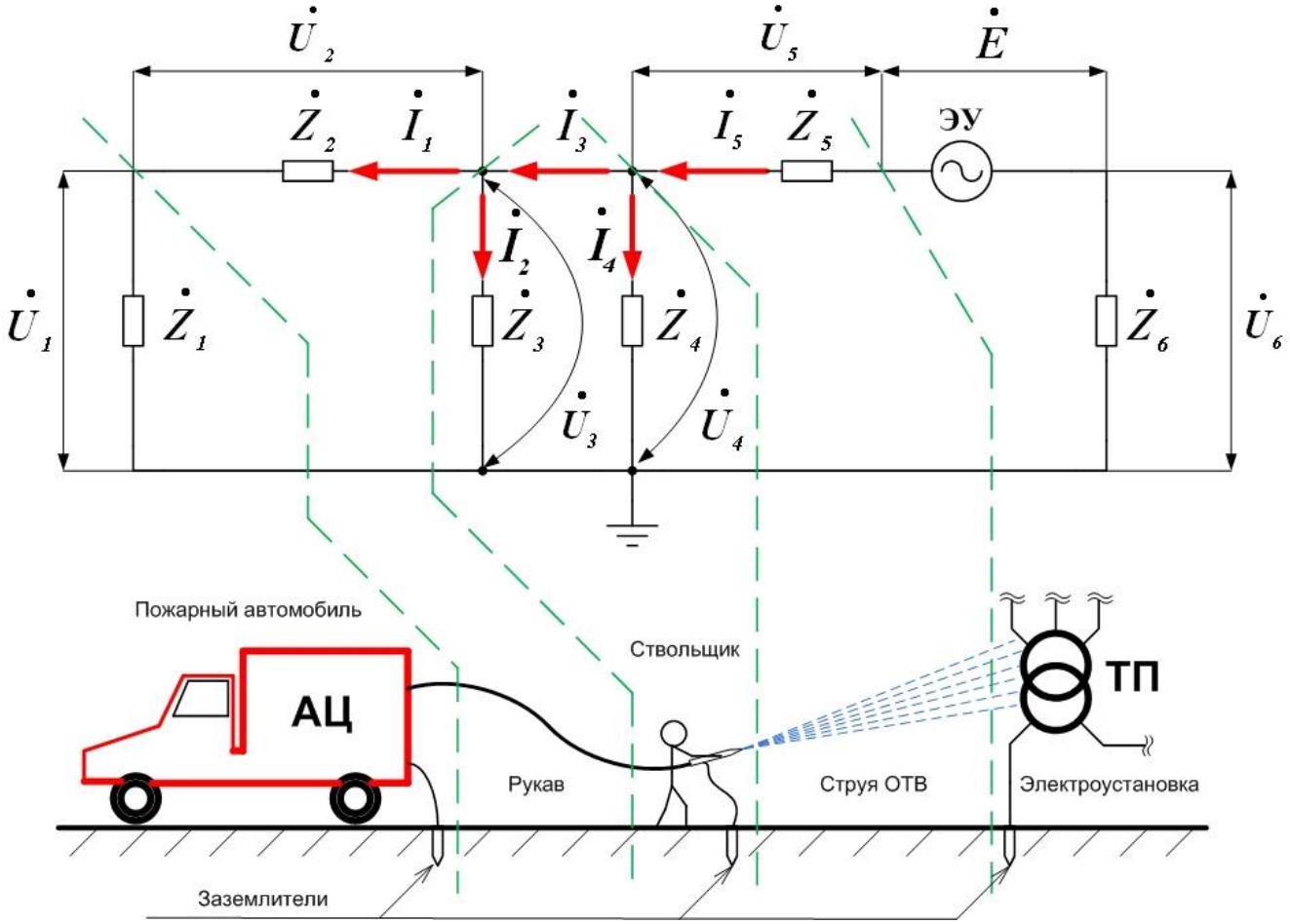


Рисунок 2.1 — Эквивалентная схема электрической цепи, возникающей при тушении электроустановок переменного тока под напряжением:
$\dot{Z}_1$ — комплексное сопротивление пожарного автомобиля с подключенным к его корпусу заземляющим устройством; $\dot{U}_1$ — падение напряжения на $\dot{Z}_1$; $\dot{Z}_2$ — комплексное сопротивление насосно-рукавной системы пожарного автомобиля; $\dot{U}_2$ — падение напряжения на $\dot{Z}_2$; $\dot{I}_1$ — комплексная сила тока, протекающего через $\dot{Z}_1$ и $\dot{Z}_2$; $\dot{Z}_3$ — комплексное сопротивление заземляющего устройства пожарного ствола; $\dot{U}_3$ — падение напряжения на $\dot{Z}_3$; $\dot{I}_2$ — комплексная сила тока, протекающего через $\dot{Z}_3$; $\dot{I}_3$ — комплексная сила тока, равная сумме токов $\dot{I}_1$ и $\dot{I}_2$; $\dot{Z}_4$ — комплексное сопротивление пожарного, работающего со стволом; $\dot{U}_4$ — падение напряжения на $\dot{Z}_4$; $\dot{I}_4$ — комплексная сила тока, протекающего через $\dot{Z}_4$; $\dot{Z}_5$ — комплексное сопротивление струи огнетушащего вещества; $\dot{U}_5$ — падение напряжения на $\dot{Z}_5$; $\dot{I}_5$ — комплексная сила тока, протекающего через $\dot{Z}_5$ равная сумме токов $\dot{I}_3$ и $\dot{I}_4$; $\dot{Z}_6$ — комплексное сопротивление, характеризующее контакт электроустановки с поверхностью земли; $\dot{E}$ — комплексная электродвижущая сила электроустановки переменного тока

Комплексное сопротивление $\dot{Z}_5$ струи температурно-активированной воды, обладает электрическим сопротивлением R_5, индуктивностью L_5 и емкостью C_5. Ее электрическая схема замещения показана на рисунке 2.2.

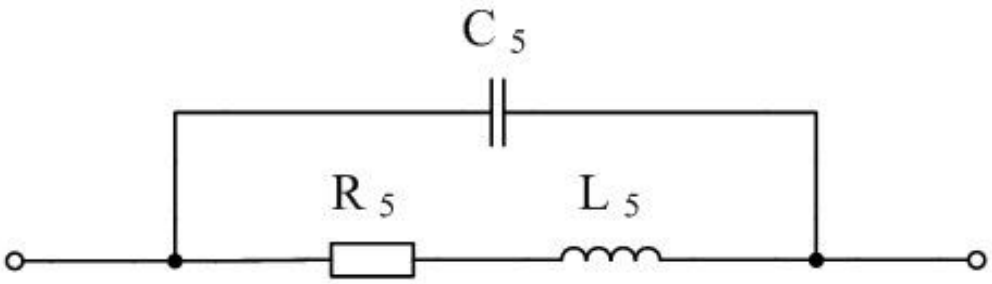


Рисунок 2.2 — Электрическая схема замещения комплексного сопротивления $\dot{Z}_5$ струи температурно-активированной воды

Классические формулы не подходят для вычисления сопротивления, емкости и индуктивности, так как форма струй температурно-активированной воды отличается от цилиндрической, а состав струй представляет из себя гетерогенный поток с полидисперсной водяной, и монодисперсионной паровой средами.

Учитывая соединение элементов в схеме замещения комплексного сопротивления $\dot{Z}_5$, руководствуясь положениями из электротехники и теории цепей [105], его выражение примет вид:

$$\dot{Z}_5 = \frac{\left(R_5 + \dot{Z}_{L_5}\right)\left(\dot{Z}_{C_5}\right)}{R_5 + \dot{Z}_{L_5} + \dot{Z}_{C_5}} = \frac{1}{\omega C_5} \cdot \frac{\omega L_5 - jR_5}{R_5 + j\left(\omega L_5 - \frac{1}{\omega C_5}\right)}. \quad (2.1)$$

После некоторых преобразований получаем значение комплексного сопротивления $\dot{Z}_5$ в алгебраической форме:

$$\dot{Z}_5 = \frac{1}{\omega C_5} \cdot \left(\left(\frac{R_5 \left(\omega L_5 - \left(\omega L_5 - \frac{1}{\omega C_5} \right) \right)}{R_5^2 + \left(\omega L_5 - \frac{1}{\omega C_5} \right)^2} \right) - j \left(\frac{R^2 + \omega L_5 \left(\omega L_5 - \frac{1}{\omega C_5} \right)}{R^2 + \left(\omega L_5 - \frac{1}{\omega C_5} \right)^2} \right) \right). \quad (2.2)$$

Из анализа эквивалентной электрической схемы (см. рисунок 2.1) можно сделать следующие выводы.

1. Комплексные сопротивления $\dot{Z}_1$ и $\dot{Z}_2$, находятся в последовательной цепи, которая подключена параллельно комплексному сопротивлению $\dot{Z}_3$ и образует общее сопротивление $\dot{Z}_{общ}$, рассчитываемое по формуле:

$$\dot{Z}_{общ} = \frac{\left(\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2\right)\dot{Z}_3}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3}. \qquad (2.3)$$

Через $\dot{Z}_{общ}$ протекает комплексный ток $\dot{I}_3$ и происходит падение напряжения $\dot{U}_3 = \dot{U}_4$. Изменение $\dot{Z}_{общ}$ в интервале от нуля до бесконечности приводит к изменению тока $\dot{I}_3$ от бесконечности до нуля. Иными словами, любое значение сопротивления $\dot{Z}_{общ}$ приводит только к увеличению тока $\dot{I}_3$ и пропорциональному снижению тока $\dot{I}_4$, протекающему через пожарного.

2. В соответствии с законом Ома, чем выше сопротивление тела пожарного $\dot{Z}_4$, тем меньший ток $\dot{I}_4$ будет через него протекать. Применение электрозащитных средств только снижает величину тока I_4 и опасность поражения этим током.

3. В соответствии с законом Ома увеличение комплексного сопротивления $\dot{Z}_6$, характеризующего контакт электроустановки с землей, от нуля до бесконечности, снижает величину тока $\dot{I}_5$ от бесконечности до нуля.

4. Ток $\dot{I}_5$, протекающий через струю температурно-активированной воды, для остальных ветвей эквивалентной электрической схемы является суммарным и максимальным током.

Таким образом, целесообразно рассматривать протекание тока через струи температурно-активированной воды с учетом факторов, повышающих вероятность поражения пожарного, работающего со стволом, электрическим током. Для этого можно сделать следующие предположения.

1. Сопротивление насосно-рукавной системы бесконечно велико. Подобная ситуация возможна, если пожарный автомобиль не заземлен и ток через него и насосно-рукавную систему не протекает.

2. При тушении электроустановок под напряжением пожарный-ствольщик не использует диэлектрический комплект и не заземляет пожарный ствол. В этом случае сопротивление тела пожарного пренебрежимо мало по сравнению с $|\dot{Z}_5|$.

3. В электроустановках с глухозаземленной нейтралью или при коротком замыкании токоведущих частей электроустановки на землю значение сопротивление $\dot{Z}_6$ становится равным нулю.

4. Сопротивление поверхности земли мало, поэтому им можно пренебречь.

Перечисленные допущения вполне вероятны, так как описывают случай внезапного поражения пожарного электрическим током. Такое может произойти при случайном попадании струй огнетушащих веществ на электроустановку под напряжением, когда задача ее тушения вообще не ставилась или не являлась основной, а также в случае нарушения правил безопасности при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

В связи с этим основной задачей становится исследование токопроводимости струй температурно-активированной воды, так как от этого будет зависеть ток, протекающий через пожарного-ствольщика. При этом эквивалентная электрическая схема (см. рисунок 2.1) с учетом схемы замещения (см. рисунок 2.2) приобретет упрощенный вид, изображенный на рисунке 2.3.

Комплексная величина переменного синусоидального тока частой 50 Гц, протекающего через струю температурно-активированной воды будет равна:

$$\dot{I} = \dot{E} \big/ \dot{Z}, \tag{2.4}$$

где $\dot{I}$ — переменный комплексный ток, протекающий по струе температурно-активированной воды, А; $\dot{E}$ — переменное комплексное напряжение электроустановки, В; $\dot{Z}$ — комплексное сопротивление струи температурно-активированной воды, Ом.

Выражения (2.1), (2.2) по модулю и без индексов примет окончательный вид:

$$|\dot{Z}| = \frac{1}{2\pi FC} \sqrt{\frac{R^2 + \left(2\pi FL\right)^2}{R^2 + \left(2\pi FL - \frac{1}{2\pi FC}\right)^2}}, \tag{2.5}$$

где R — сопротивление струи температурно-активированной воды, Ом; C — емкость между срезом сопла ствола для подачи струи температурно-активированной воды и электроустановкой, Ф; L — индуктивность струи температурно-активированной воды, Гн; F — частота переменного тока, Гц.

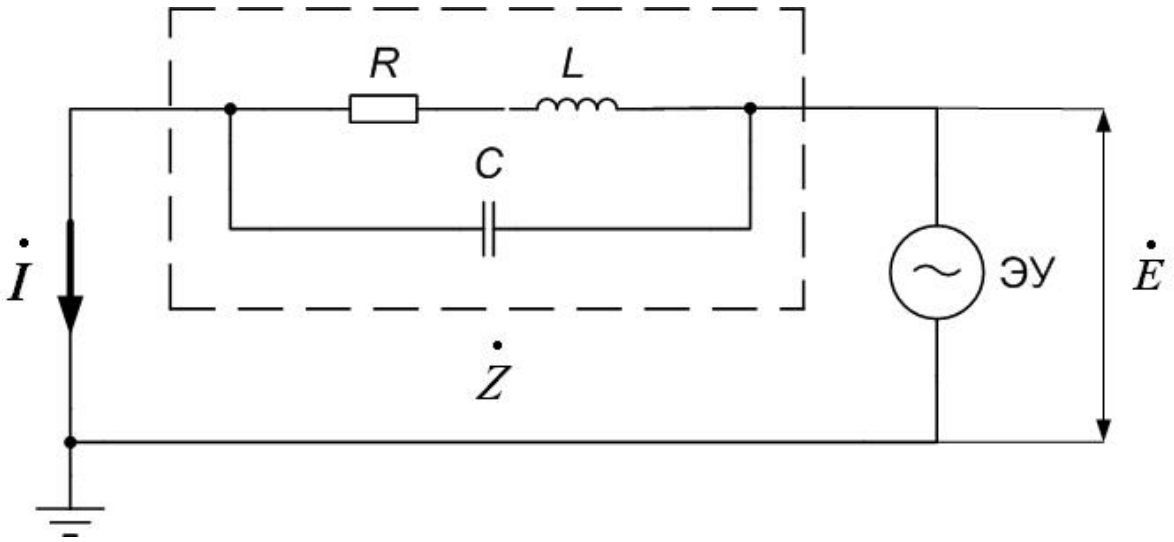


Рисунок 2.3 — Электрическая схема замещения комплексного сопротивления $\dot{Z}$:
$\dot{E}$ — переменное комплексное напряжение электроустановки;
$\dot{I}$ — переменный комплексный ток по струе температурно-активированной воды;
R — суммарное резистивное сопротивление струи температурно-активированной воды;
C — емкость между срезом сопла ствола для подачи струи температурно-активированной воды и электроустановки; L — индуктивность струи температурно-активированной воды;
$\dot{Z}$ — комплексное сопротивление струи температурно-активированной воды

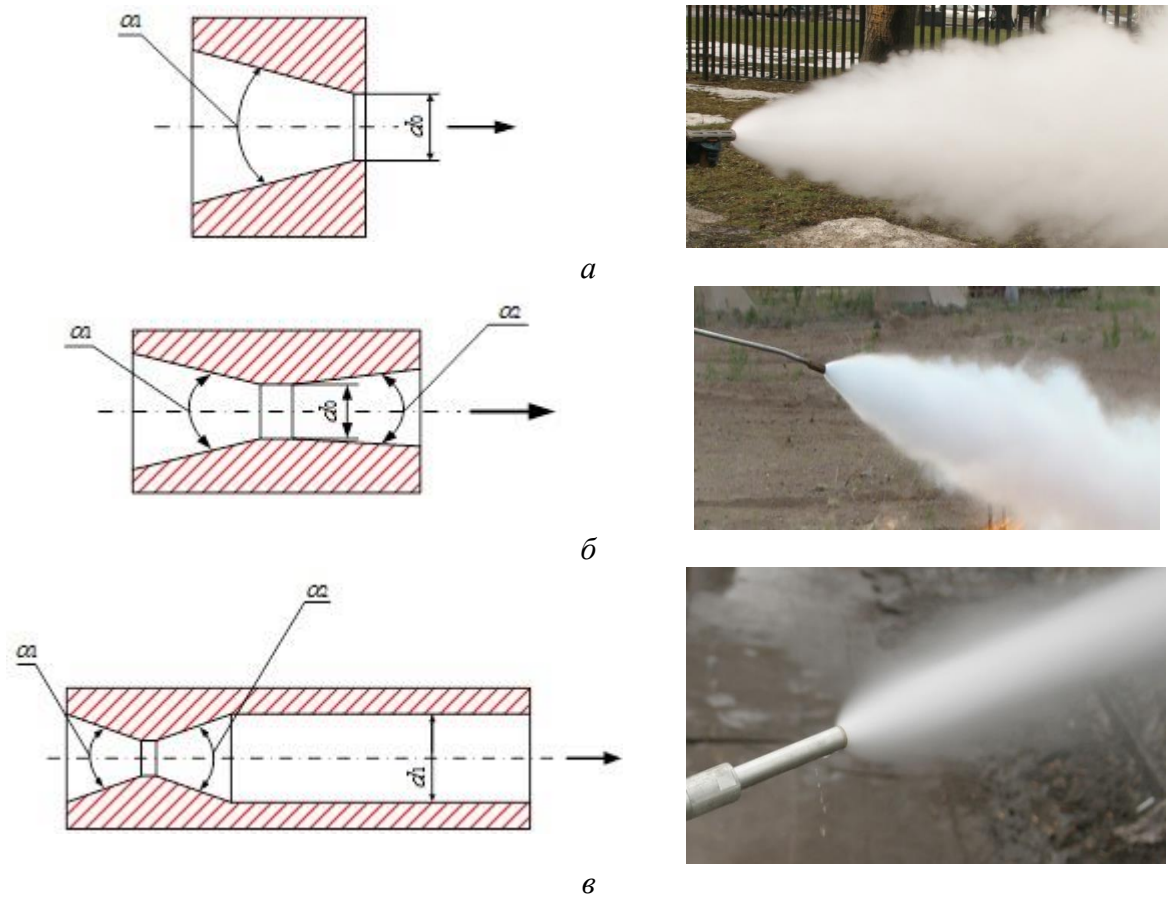
Таким образом, нахождение действующего тока утечки (2.4) по струе температурно-активированной воды сводится к задаче определения сопротивления, емкости и индуктивности как величин, входящих в модуль комплексного сопротивления (2.5).

2.2 Влияние геометрических параметров струй температурно-активированной воды на их комплексное сопротивление

Струи температурно-активированной воды, получаемые с помощью технических средств подачи АПМ, по форме представляют усеченный конус (рисунок 2.4).

Нахождение резистивного сопротивления, емкости и индуктивности непрерывных и однородных струй огнетушащих веществ цилиндрической формы не представляет трудность, и формулы для их вычисления известны [121]. Однако для нахождения этих параметров для струй температурно-активированной воды в виде усеченного конуса, ограниченного, с одной стороны, срезом сопла ствола с

радиусом y_1, а с другой — плоскостью мишени, нормальной по отношению к центральной оси струи и образующей на ней окружность радиуса y_2, необходимо разбить усеченный конус длиной $l_{полн}$ на множество элементарных слоев с толщиной Δl_i (рисунок 2.5).



а

б

в

Рисунок 2.4 — Конструкция стволов-распылителей (насадков) и конические струи температурно-активированной воды [127]:
а — ствол-трансформер для подачи компактной струи (шайба с острой кромкой); α_1 — угол расточки канала ($\alpha_1 \geq 150^\circ$); d_0 — диаметр канала; *б* — ствол-пика (сопло Лаваля); α_1 — угол расточки суживающейся части; α_2 — угол расширяющейся части; d_0 — диаметр сопла; *в* — ствол дальнобойный (сопло Лаваля с удлиненной проточной частью); α_1 — угол расточки суживающейся части; α_2 — угол расширяющейся части; d_0 — диаметр критического сечения сопла; d_1 — диаметр цилиндрического участка канала

Каждый элементарный слой будет иметь собственное резистивное сопротивление R_i, емкость C_i и индуктивность L_i. Если устремить количество слоев к бесконечности ($n \to \infty$), а их толщину к нулю ($\Delta l_i \to 0$), то полные сопротивление, емкость и индуктивность можно найти по формулам

$$R = \lim_{\substack{\Delta l_i \to 0 \\ n \to \infty}} \sum_{i=1}^{n} R_i(l_i)\Delta l_i = \int_0^{l_{полн}} R(l)dl \; ; \qquad (2.6)$$

$$C^{-1} = \lim_{\substack{\Delta l_i \to 0 \\ n \to \infty}} \sum_{i=1}^{n} C_{\text{i}}^{-1}(l_i)\Delta l_i = \int_0^{l_{\text{полн}}} C^{-1}(l)dl \; ; \tag{2.7}$$

$$L = \lim_{\substack{\Delta l_i \to 0 \\ n \to \infty}} \sum_{i=1}^{n} L_i(l_i)\Delta l_i = \int_0^{l_{\text{полн}}} L(l)dl \; . \tag{2.8}$$

На рисунке 2.5 угол β между плоскостью мишени и границей струи температурно-активированной воды соотносится с углом α раскрытия струи.

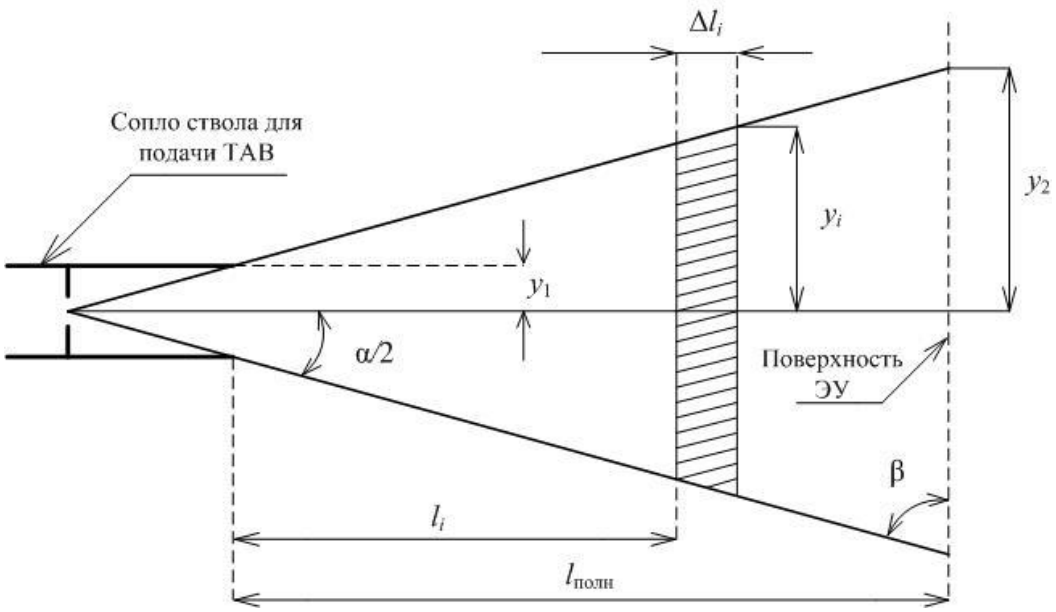


Рисунок 2.5 — Эскиз для вычисления резистивного сопротивления и емкости струи температурно-активированной воды:
α — угол раскрытия струи; β — угол между плоскостью мишени и границей струи;
ТАВ — температурно-активированная вода; ЭУ — электроустановка

Отсюда следует, что

$$\text{tg}\beta = \text{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) = \frac{l_{\text{полн}}}{y_2 - y_1}, \tag{2.9}$$

тогда из формулы (2.9) найдем радиус окружности y_2:

$$y_2 = y_1 + \frac{l_{\text{полн}}}{\text{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2}\right)} = y_1 + \frac{l_{\text{полн}}}{\text{ctg}(\alpha/2)}. \tag{2.10}$$

Радиус элементарного слоя, возможно, рассчитать по следующей формуле:

$$y_i = y_1 + \frac{l_i}{\text{tg}\beta} = y_1 + \frac{l_i}{\text{ctg}(\alpha/2)}. \tag{2.11}$$

Сопротивление элементарного слоя выражается следующим соотношением:

$$R_i = \frac{\Delta l_i}{S_i}\rho_i, \tag{2.12}$$

где Δl_i — толщина элементарных слоев, м; S_i — площадь элементарного слоя, м^2; ρ_i — удельное сопротивление i-го слоя, Ом · м.

Для нахождения полного резистивного сопротивления струи температурно-активированной воды воспользуемся формулами (2.6) и (2.12):

$$R = \int_0^{l_{\text{подн}}} \frac{\rho_i \, dl_i}{\pi(y_1 + l_i/\text{tg}\beta)} = \frac{l_{\text{полн}}\rho_{\text{эф}} \, \text{tg}\beta}{\pi y_1 (l_{\text{полн}} + y_1 \text{tg}\beta)}, \tag{2.13}$$

Подставим формулу (2.9) в выражение (2.13) и получим еще одно математическое выражение для полного сопротивления струи температурно-активированной воды в форме усеченного конуса:

$$R = \frac{\rho_{\text{эф}} \, l_{\text{полн}}}{\pi y_1 y_2}, \tag{2.14}$$

которое в окончательном виде при $y_1 > 0$, воспользовавшись формулами (2.10) в (2.14), будет выглядеть так:

$$R = \frac{l_{\text{полн}}\rho_{\text{эф}} \, \text{ctg}(\alpha/2)}{\pi y_1 (l_{\text{полн}} + y_1 \text{ctg}(\alpha/2))}, \tag{2.15}$$

где R — полное резистивное сопротивление струи температурно-активированной воды, Ом; $l_{\text{полн}}$ — длина струи, м; $\rho_{\text{эф}}$ — полное эффективное удельное сопротивление струи, Ом · м; α — угол раскрытия струи, рад; y_1 — радиус среза сопла ствола, м.

Обратная величина емкости элементарного слоя выражается следующим соотношением:

$$C_i^{-1} = \frac{\Delta l_i}{\varepsilon_0 \varepsilon_i S_i}, \tag{2.16}$$

где $\varepsilon_0 \approx 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ — абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м; ε_i — относительная диэлектрическая проницаемость элементарного слоя; Δl_i —

толщина элементарных слоев (расстояние между пластинами виртуального конденсатора), м; S_i — площадь (виртуальных пластин) элементарного слоя, м^2.

Для нахождения обратной величины полной емкости струи температурно-активированной воды нужно воспользоваться формулами (2.7) и (2.16) и аналогиями для нахождения сопротивления. В результате получим:

$$C^{-1} = \int_0^{l_{\text{полн}}} \frac{dl_i}{\pi\varepsilon_0\varepsilon_i(y_1 + l_i/\text{tg}\beta)} = \frac{l_{\text{полн}}\text{ctg}(\alpha/2)}{\varepsilon_0\varepsilon_{\text{эф}}\pi y_1(l_{\text{полн}} + y_1\text{ctg}(\alpha/2))}. \quad (2.17)$$

Взяв обратную величину из формулы (2.17), в окончательном виде получим выражение для расчета емкости струи температурно-активированной воды при $l_{\text{полн}} > 0$:

$$C = \frac{\varepsilon_0\varepsilon_{\text{эф}}\pi y_1(l_{\text{полн}} + y_1\text{ctg}(\alpha/2))}{l_{\text{полн}}\text{ctg}(\alpha/2)}, \quad (2.18)$$

где C — емкость струи температурно-активированной воды, Ф; $\varepsilon_{\text{эф}}$ — полная эффективная относительная диэлектрическая проницаемость струи температурно-активированной воды.

Для нахождения индуктивности струи температурно-активированной воды логично было бы воспользоваться аналогиями для сопротивления и емкости, формулой (2.8) и общеизвестным [121, 105] выражением для проводника цилиндрической формы:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} l\left(\mu_e \ln\frac{l}{r} + \frac{1}{4}\mu_j\right), \quad (2.19)$$

где $\mu_0 \approx 1{,}25663706 \cdot 10^{-6}$ — абсолютная магнитная проницаемость вакуума, Гн/м; μ_e — относительная магнитная проницаемость внешней среды; μ_j — относительная магнитная проницаемость материала проводника; l — длина проводника, м; r — радиус сечения проводника, м.

Однако формула (2.19) справедлива только при условии $l \gg r$, точность вычисления по ней пропорциональна l/r и снижается с ростом диаметра и уменьшением длины проводника. Для цилиндрического проводника большой толщины индуктивность можно найти по более точным формулам из пособия [128]:

$$\begin{cases} L = L_{\text{внеш}} + L_{\text{внутр}} \\ \mathrm{L}_{\text{внутр}} = \dfrac{\mu_0 \mu_j}{8\pi} \\ L_{\text{внеш}} = \dfrac{\mu_0 \mu_e}{2\pi}\left(l\,\mathrm{Arsh}\dfrac{l}{r} + r - \sqrt{r^2 + l^2} \right) \end{cases}, \tag{2.20}$$

где L — индуктивность струи температурно-активированной воды, Гн.

Для проводника в форме усеченного конуса (струя температурно-активированной воды) формулы для нахождения обшей индуктивности L и внутренней индуктивности струи $L_{\text{внутр}}$ применимы в неизменном виде, а задача нахождения индуктивности струи температурно-активированной воды сводится к нахождению внешней индуктивности $L_{\text{внеш}}$. Для вывода формулы необходимо воспользоваться методикой из пособия [128] и рисунком 2.6.

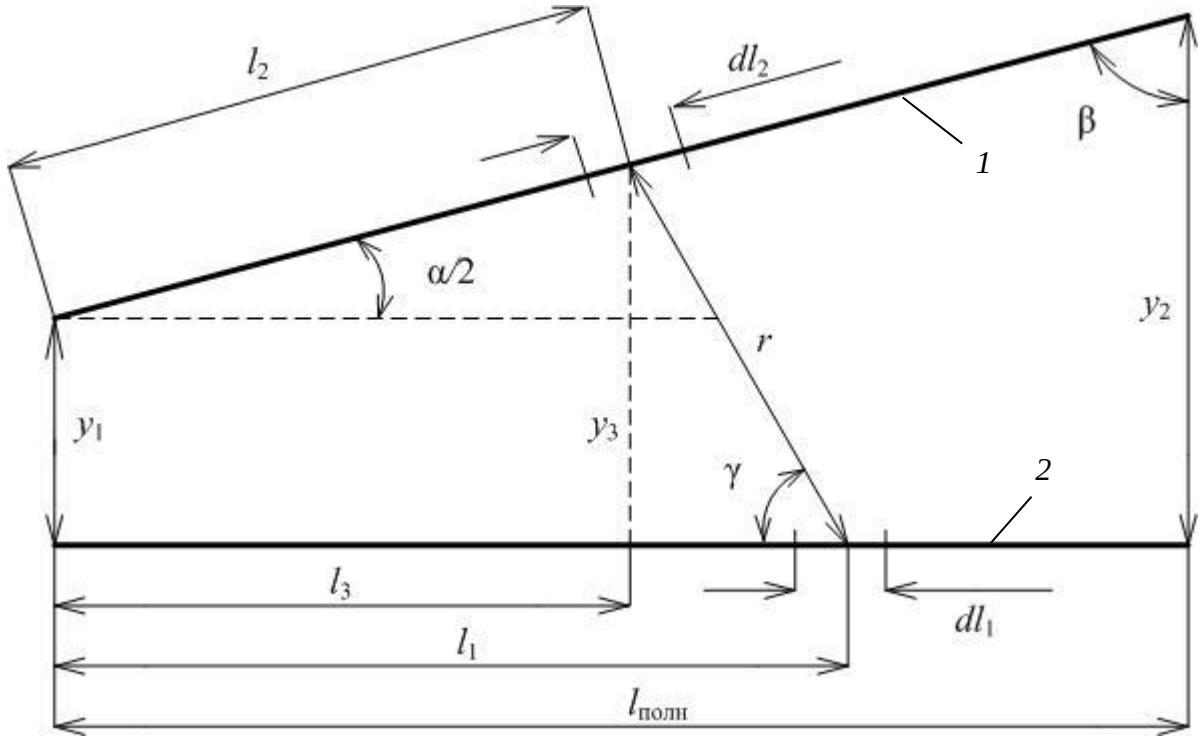


Рисунок 2.6 — Эскиз для вычисления индуктивности струи температурно-активированной воды: *1, 2* — виртуальные проводники; α — угол раскрытия струи; β — угол между плоскостью мишени и границей струи; dl_i — элементарные отрезки бесконечно малой длины (dl_1, dl_2); r — расстояние между элементарными отрезками dl_1 и dl_2; γ — угол между элементарными отрезками и виртуальным центральным проводником

Методика основана на нахождении взаимного влияния магнитных потоков на электродвижущие силы (э.д.с.) в виртуальных проводниках, один из которых l_1

бесконечно тонкий и проходит через центр реального проводника (центральная ось струи температурно-активированной воды), второй l_2 обозначает поверхность проводника (боковая граница струи температурно-активированной воды).

Для рисунка 2.6 очевидно, что:

$$\sin\gamma = \frac{y_3}{r};\quad \mathrm{tg}\gamma = \frac{y_3}{l_1 - l_3};\quad \cos\gamma = \frac{l_1 - l_3}{r};\quad \cos\frac{\alpha}{2} = \frac{l_3}{l_2};\quad l_3 = l_2\cos\frac{\alpha}{2}; \tag{2.21}$$

$$y_3 = y_1 + \frac{l_3}{t\mathrm{g}\beta} = y_1 + \frac{l_3}{\mathrm{tg}\left(\pi/2 - \alpha/2\right)} = y_1 + \frac{l_2\cos\left(\alpha/2\right)}{\mathrm{ctg}\left(\alpha/2\right)} = y_1 + l_2\sin\left(\alpha/2\right). \tag{2.22}$$

Найдем угол γ, используя выражения (2.21) и (2.22):

$$\gamma = \mathrm{arctg}\frac{y_3}{\mathrm{l}_1 - l_2\cos\left(\alpha/2\right)} = \mathrm{arctg}\frac{y_1 + l_2\sin\left(\alpha/2\right)}{l_1 - l_2\cos\left(\alpha/2\right)}. \tag{2.23}$$

Длину отрезка r возможно рассчитать, воспользовавшись формулами (2.21) и (2.23):

$$r = \frac{l_1 - l_3}{\cos\gamma} = \frac{l_1 - l_2\cos\left(\alpha/2\right)}{\cos\gamma} = \frac{l_1 - l_2\cos\left(\alpha/2\right)}{\cos\left(\mathrm{arctg}\dfrac{y_1 + l_2\sin\left(\alpha/2\right)}{l_1 - l_2\cos\left(\alpha/2\right)}\right)}. \tag{2.24}$$

Для облегчения расчета введем обозначения z и k, которые будут являться константами при первом интегрировании по методике, указанной в пособии [128], т. е. нахождении влияния магнитного потока в проводнике l_1 на э.д.с. в проводнике l_2:

$$z = y_1 + l_2\sin(\alpha/2); \tag{2.25, \textit{а}}$$

$$k = l_2\cos(\alpha/2). \tag{2.25, \textit{б}}$$

С учетом выражений (2.24), (2.25, *а*) и (2.25, *б*) длина отрезка r равна:

$$r = \frac{l_1 - k}{\cos\left(\mathrm{arctg}\left(z/\left(l_1 - k\right)\right)\right)}. \tag{2.26}$$

Значение векторного потенциала магнитного поля, обусловленного током в первом проводнике, в точке, где расположен малый отрезок dl_2, при использовании выражения (2.26) рассчитывается таким образом:

$$A_{dl_2} = \frac{\mu_0 \mu_e I_1}{4\pi} \int_0^{l_{\text{подн}}} \frac{dl_1}{r} = \frac{\mu_0 \mu_e I_1}{4\pi} \int_0^{l_{\text{подн}}} \frac{\cos\left(\text{arctg}\left(z/(l_1 - k)\right)\right)}{l_1 - k} dl_1. \quad (2.27)$$

После преобразований интегрального выражения (2.27) получим формулу для расчета A_{dl_2} — значения векторного потенциала магнитного поля, обусловленного током в первом проводнике, в точке на отрезке dl_2:

$$A_{dl_2} = \frac{\mu_0 \mu_e I_1}{4\pi} \left(\text{Arsh} \frac{l_{\text{полн}} - k}{z} + \text{Arsh} \frac{k}{z} \right), \quad (2.28)$$

где I_1 — ток в проводнике l_1, А.

Теперь, используя выражение (2.28) и интегрируя его по dl_2, можно найти взаимную индуктивность, равную $L_{\text{внеш}}$:

$$L_{\text{внеш}} = \int_0^{l_{\text{подн}}} \frac{A_{dl_2}}{I_1} dl_2 = \frac{\mu_0 \mu_e}{4\pi} \left(\int_0^{l_{\text{подн}}} \text{Arsh} \frac{l_{\text{полн}} - k}{z} dl_2 + \int_0^{l_{\text{подн}}} \text{Arsh} \frac{k}{z} dl_2 \right). \quad (2.29)$$

Подставляя в формулу (2.29) выражения (2.25, *а*) и (2.25, *б*) и учитывая математическое равенство (2.20), окончательно преобразовываем формулу для расчета индуктивности:

$$L = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{\mu_{\text{эф}\,j}}{2} + \mu_e \left(\int_0^{l_{\text{подн}}} \text{Arsh} \frac{l_{\text{полн}} - l_2 \cos(\alpha/2)}{y_1 + l_2 \sin(\alpha/2)} dl_2 + \int_0^{l_{\text{подн}}} \text{Arsh} \frac{l_2 \cos(\alpha/2)}{y_1 + l_2 \sin(\alpha/2)} dl_2 \right) \right), \quad (2.30)$$

где $\mu_{\text{эф}\,j}$ — эффективная относительная магнитная проницаемость струи температурно-активированной воды.

Интегралы от ареасинусов в выражении (2.30) в элементарных функциях не берутся, поэтому при их вычислении необходимо прибегнуть к численным методам (метод трапеций или метод Симпсона).

Таким образом, в результате расчетов были получены аналитические выражения для активного сопротивления (2.15), емкости (2.18) и индуктивности (2.30) для нахождения комплексного сопротивления (2.1, 2.2, 2.5) струй температурно-активированной воды:

$$\begin{cases} C = f(y_1; l_{\text{полн}}; \alpha; \varepsilon_0; \varepsilon_{\text{эф}}) \\ L = f(y_1; l_{\text{полн}}; \alpha; \mu_0; \mu_{\text{эф}\,j}; \mu_e), \\ R = f(y_1; l_{\text{полн}}; \alpha; \rho_{\text{эф}}) \end{cases} \quad (2.31)$$

где $l_{\text{полн}}$ — длина струи температурно-активированной воды от среза сопла ствола до электроустановки, м; α — угол раскрытия струи, рад; y_1 — радиус среза сопла ствола, м; $\rho_{\text{эф}}$ — эффективное удельное сопротивление струи, Ом · м; $\varepsilon_0 \approx 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ — абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м; $\varepsilon_{\text{эф}}$ — эффективная относительная диэлектрическая проницаемость струи температурно-активированной воды; $\mu_0 \approx 1{,}25663706 \cdot 10^{-6}$ — абсолютная магнитная проницаемость вакуума, Гн/м; μ_e — относительная магнитная проницаемость внешней среды; $\mu_{\text{эф}.j}$ — эффективная относительная магнитная проницаемость струи температурно-активированной воды.

Из анализа выражений (2.31) можно сделать вывод о том, что активное сопротивление R, электрическая емкость C и индуктивность L нелинейно зависят от геометрических параметров струй температурно-активированной воды: длины струи $l_{\text{полн}}$, угла раскрытия струи α, радиуса среза сопла ствола y_1. Нахождение геометрических параметров не представляет труда и может быть сделано на основе анализа фото- и видеоматериалов фиксации эксперимента по подаче струй температурно-активированной воды из штатных стволов АПМ. Нахождение эффективных электрических параметров струй ($\rho_{\text{эф}}$, $\varepsilon_{\text{эф}}$, $\mu_{\text{эф}.j}$) представляет собой более сложную задачу и требует дальнейшего теоретического анализа физических процессов протекающих в двухфазных гетерогенных струях температурно-активированной воды с полидисперсной водокапельной и монодисперсионной паровой несущей средой.

2.3 Влияние электроперколяционных параметров струй температурно-активированной воды на их комплексное сопротивление

Физические процессы, протекающие при получении струй температурно-активированной воды из недогретой воды, являются весьма сложными для математического моделирования, но теоретически могут быть решены методами, изложенными в [129–142]. При выборе той или иной методики очень важна постановка общей задачи, а также выбор начальных и граничных (краевых) условий. Например, если поставить задачу оптимизации параметров недогретой воды, подаваемой к пожарным стволам АПМ для тушения пожара электроустановки под напряжением в целях достижения наименьшей проводимости струй температурно-активированной воды, то необходимо создать математическую модель, описывающую зависимость комплексного сопротивления струй температурно-активированной воды от расхода Q, давления P и температуры T недогретой воды на входе в стволы. Если при табулировании функции $\dot{Z} = f(Q; P; T)$ удастся найти ее максимум (при варьировании значений расхода Q, давления P, температуры T, которые должны лежать в реализуемых границах для УПТАВ и без ущерба для огнетушащей способности), то можно вести речь о разработке технически обоснованного режима подачи температурно-активированной воды для тушения пожаров электроустановок под напряжением. Решение такой задачи связано с аналитическим описанием математическими зависимостями процессов взаимодействия капельной и паровой среды (испарение, конденсация, дробление и коагуляция) как в самих струях температурно-активированной воды, так и в соплах стволов для их получения (сопло Лаваля, сопло с острой кромкой, сопло с удлиненной проточной частью). При этом от учета всех физических особенностей получения струй температурно-активированной воды из недогретой воды зависит точность разрабатываемого метода и применимость его на практике. Чрезмерное упрощение модели может привести к неприемлемой погрешности и неприменимости метода в целом. Вместе с тем учет всех многообразных физических процессов, протекающих при

получении и использовании струй температурно-активированной воды для тушения пожаров электроустановок под напряжением в совокупности с задачей нахождения оптимального режима пожаротушения может привести к очень громоздким аналитическим выражениям, моделирование которых численными методами окажется невозможным или весьма затруднительным. Таким образом, от правильности поставленной задачи и создания упрощенной модели, с заданной точностью описывающей процесс тушения пожаров электроустановок под напряжением струями температурно-активированной воды, во многом зависит успешное достижение результата.

Оптимальной задачей может стать анализ применимости пожарных стволов АПМ для тушения пожаров электроустановок при различных напряжениях и нахождение безопасных расстояний подачи струй температурно-активированной воды. При этом в качестве исходных параметров работы УПТАВ должны рассматриваться ее стандартные режимы подачи недогретой воды: температурно-активированной воды 40 (расход Q от 0,4 до 2,0 л/с при температуре T от 165 до 195 °С и избыточном давлении P от 1,3 до 2,0 МПа) и температурно-активированной воды 100 (расход Q от 0,4 до 1,38 л/с при температуре T от 165 до 280 °С и избыточном давлении P от 1,3 до 6,0 МПа) [103]. Полученные результаты позволят совершенствовать оборудования АПМ в контексте применимости для поставленной задачи.

Комплексное сопротивление струй температурно-активированной воды зависит от их эффективных: удельного сопротивления $\rho_{эф}$, относительной диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{эф}$ и относительной магнитной проницаемости $\mu_{эф.j}$. Дальнейшее исследование должно быть сосредоточено на нахождении именно этих параметров. Для того чтобы найти аналитические выражения для их описания необходимо проанализировать состав и структуру струй температурно-активированной воды, а также способ их получения, например с помощью сопл Лаваля.

Некоторые аспекты получения из недогретой воды гетерогенных двухфазных паро-капельных потоков с помощью сопл Лаваля описаны в [129–

142]. В случае с температурно-активированной водой недогретая вода по рукавным линиям высокого давления поступает к суживающейся части сопла Лаваля, которым оконечен, например ствол-пика (см. рисунок 2.4, *б*).

Протекая по рукавам высокого давления, в недогретой воде на примесях и растворенном газе, возникают центры зародышеобразования пузырьков пара. До выхода из суживающейся части сопла Лаваля недогретая вода остается в жидком состоянии, так как из-за высокого давления в рукавной линии зародившиеся пузырьки пара, не достигнув критического сечения, в основном схлопываются. После достижения расширяющейся части сопла вдоль его оси образуется жидкое ядро метастабильной воды, насыщенное растущими пузырьками пара. В расширяющейся пристенной области сопла на шероховатостях стенок возникает кипение и парообразование. Получившийся насыщенный пар быстро остывает и в некотором количестве конденсируется. Сконденсированная таким образом вода имеет свойства дистиллированной жидкости, наличие ионов и примесей в которой минимально. Вместе с тем центральное жидкое ядро, насыщенное пузырьками пара, превращается в поток водяной пены, при разрушении пузырьков которой образуются не только пар, но и более крупные капли воды. Эти капли воды обладают повышенной проводимостью (из-за присутствия ионов растворенных веществ) по сравнению с каплями, образовавшимися из насыщенного пара в процессе его конденсации. Длина центрального вспененного ядра зависит от степени недогрева воды и в некоторых случаях может выходить за срез сопла. По всей видимости, длина выходящего за срез сопла ствола вспененного ядра не будет превышать нескольких сантиметров даже в случае укороченных сопел и минимально возможной для взрывного вскипания температуры недогретой воды. В пользу этого утверждения говорят результаты компьютерного гидродинамического моделирования процесса истечения воды через сопло Лаваля в работах А.И. Соковнина [143–150], выполненное с помощью программного CFD-комплекса *ANSYS CFX*. На рисунке 2.7 схематично представлена область моделирования и отображены следующие граничные условия:

– на входе в устройство задается давление равное 2 МПа;

– на выходе — атмосферное давление;

– на остальных поверхностях — условие прилипания в виде стенки.

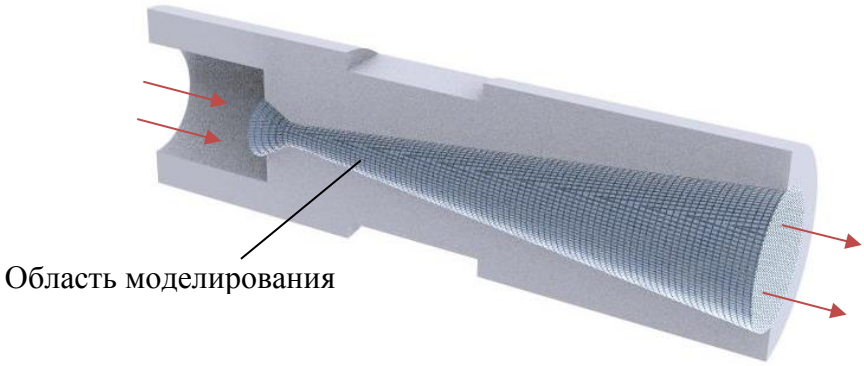
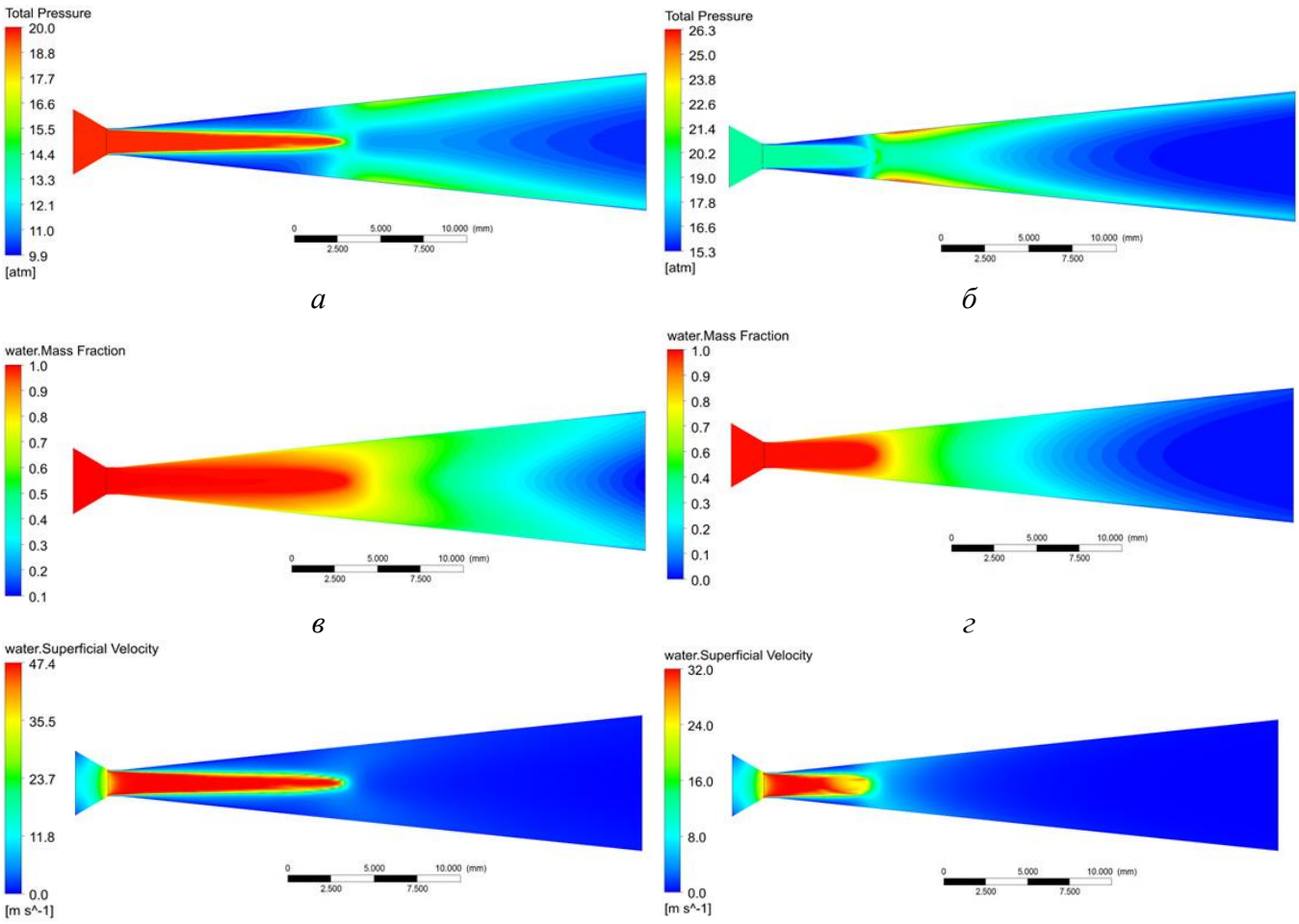


Рисунок 2.7 — Расчетная модель в сечении сопла Лаваля и граничные условия

Результаты моделирования изображены на рисунке 2.8.



а *б*

в *г*

д *е*

Рисунок 2.8 — Распределение вдоль центрального сечения сопла Лаваля для температуры недогретой воды 160 °С (*а*, *в*, *д*) и 200 °С (*б*, *г*, *е*):
а, *б* — полного давления; *в*, *г* — массовой доли воды; *д*, *е* — скорости воды

Из рисунков 2.7, 2.8 видно, что вспененное ядро не выходит за срез сопла Лаваля. Можно предположить, что для сопла в виде шайбы с острой кромкой (ствол-трансформер) (см. рисунок 2.4, *а*) вспененное ядро находится за срезом сопла, но даже в этом случае его длина не будет превышать нескольких сантиметров. Таким образом, получаем на выходе из сопел стволов паро-капельный поток с бимодальным объемным (массовым) распределение капель температурно-активированной воды (рисунок 2.9).

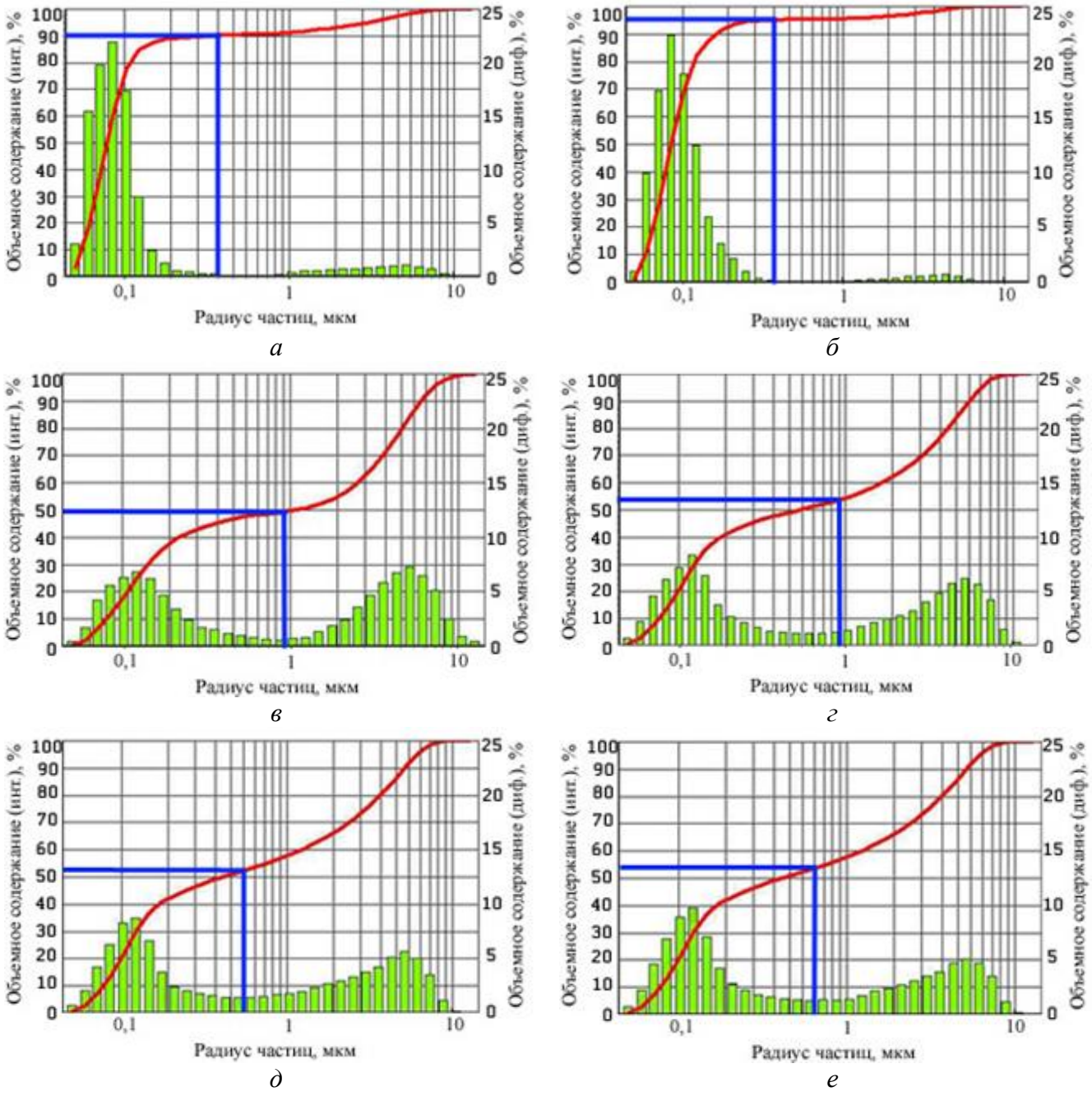


Рисунок 2.9 — Гистограмма и интегральная кривая объемного (массового) распределения (содержания) капель сконденсированного пара и воды по размерам при температуре недогретой воды перед соплом 170 °С (*а*, *в*, *д*) и 200 °С (*б*, *г*, *е*): *а*, *б* — сопло Лаваля; *в*, *г* — сопло Лаваля с удлиненной проточной частью; *д*, *е* — сопло в форме шайбы с острой кромкой

Первая мода с более мелкими каплями образуется в результате конденсации насыщенного газообразного пара, а вторая мода в результате дробления разрушающейся пленки воды вспененного центрального ядра.

Как паровая, так и водяная моды плотности распределения частиц носят случайный характер и могут быть аналитически описаны дифференциальным массовым (объемным) логарифмически нормальным или гамма распределением [151]. Суммирующая кривая дифференциального распределения для обеих мод будет иметь вид:

$$g_{\Sigma}\left(\lg(r)\right)=\left(1-\mathrm{a}\right)g_{1}\left(\lg\left(r\right)\right)+ag_{2}\left(\lg\left(r\right)\right), \qquad (2.32)$$

где $g_1(\lg(r))$ — объемная (массовая) плотность распределения капель паровой фазы, в зависимости от логарифма радиуса капель; $g_2(\lg(r))$ — объемная (массовая) плотность распределения капель водяной фазы, в зависимости от логарифма радиуса капель; r — радиус капли, мкм; a — коэффициент, показывающий насколько вторая мода больше первой.

Получившееся бимодальное распределение верно при условии нормирования на единицу, а в случае с плотностью распределения частиц (см. рисунок 2.9) на 100 %. Таким образом:

$$\int_{0}^{\infty} g_{\Sigma}\left(\lg(r)\right)d\left(\lg(r)\right)=1. \qquad (2.33)$$

На рисунке 2.9, дифференциальная плотность распределения представлена в виде гистограммы зеленого цвета, а интегральная — в виде кривой красного цвета. При этом шкала по оси ординат представлена в логарифмическом масштабе, т. е. с каждым делением приращение радиуса капель увеличивается на величину 1,195.

Гистограмма дифференциального и кривая интегрального объемного (массового) распределения капель по размерам в струях температурно-активированной воды получены в результате исследования на экспериментальной установке (рисунки 2.10–2.12) струйных течений на уменьшенных моделях (по сравнению с соплами стволов для подачи температурно-активированной воды) сопла Лаваля и сопла с острой кромкой в масштабном эксперименте [152–155].

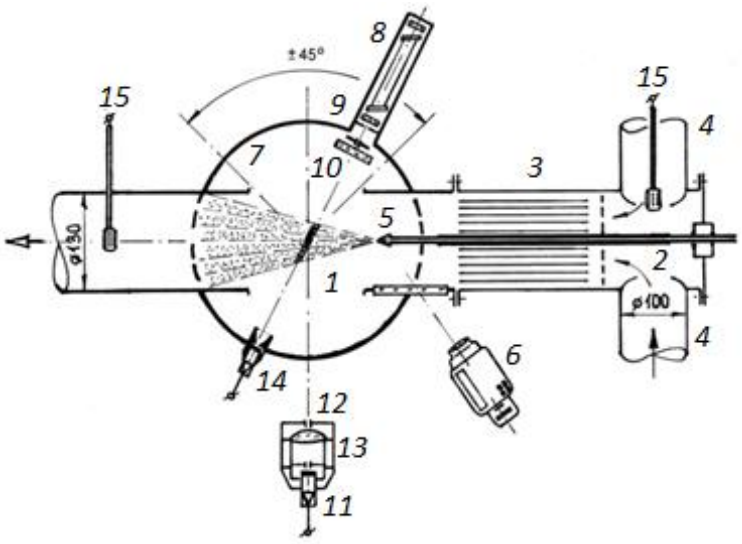


Рисунок 2.10 — Рабочий участок определения параметров струй воды в метастабильном состоянии:
1 — рабочий участок (труба 130×1 мм, длина 1500 мм); *2* — входное устройство (труба 130×1 мм, длина 400 мм); *3* — хонейкомб (15×15 мм, длина 200 мм); *4* — патрубки подвода воздуха (100×1 мм); 5 — насадок-распылитель; *6* — видеокамера; *7* — поворотный стол; *8* — источник монохроматического излучения; *9* —ограничительная диафрагма; *10* — ослабляющий нейтральный светофильтр; *11* — регистрирующее устройство интенсивности рассеянного излучения с фотодиодным модулем; *12* — апертурная диафрагма; *13* — объектив; *14* — ловушка прямого излучения с фотодиодом для регистрации ослабления зондирующего излучения; 15 —датчики влажности и температуры)

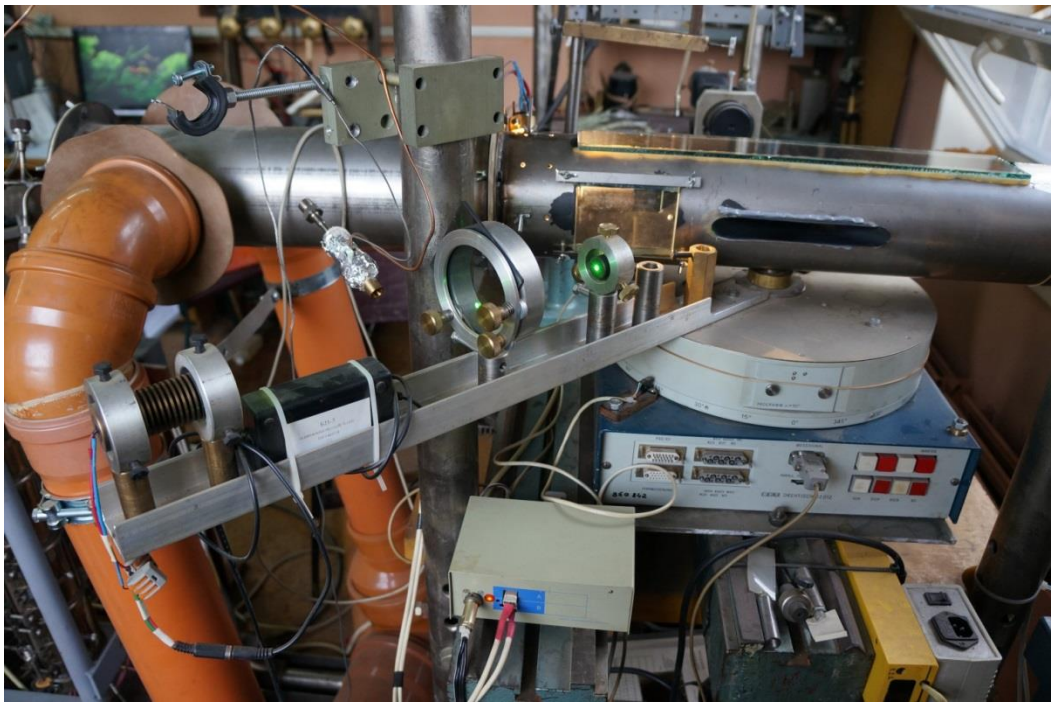


Рисунок 2.11 — Экспериментальная установка для изучения струйных течений

Рисунок 2.12 — Фотография факела распыла недогрегретой воды и места просвечивания факела диагностирующим лазерным лучом зеленого спектра

Измерения производились на расстоянии 0,6 м от среза сопл. При этом объемное (массовое) распределение (без учета логарифмической шкалы диаметров капель) соответствует формуле:

$$g(r) = \frac{r^3 f(r)}{\int_0^\infty r^3 f(r) d(r)}, \tag{2.34}$$

где $f(r)$ — счетное распределение капель по радиусам.

Необходимо уточнить, что полученные в результате исследования на экспериментальной установке объемное (массовое) распределение $g(r)$ относится только к капельной фазе и не показывает массовое содержание паровой (газовой) фазы. Найти массовую долю образовавшегося пара можно из закона сохранения энергии:

$$H_w^{tw} = H_w^{tb}(1 - \beta) + H_v^{tv}\beta\,, \tag{2.35}$$

где H_w^{tw} — удельная энтальпия недогретой воды перед пожарным стволом при заданной температуре t_w, кДж/кг; H_w^{tb} — удельная энтальпия воды при температуре кипения t_b = 100 °С, кДж/кг; H_v^{tv} — удельная энтальпия пара при заданной температуре t_v, кДж/кг; β — массовая доля пара.

Решая уравнение (2.35) относительно β получаем выражение:

$$\beta = \frac{H_w^{tw} - H_w^{tb}}{H_v^{tv} - H_w^{tb}}\,. \tag{2.36}$$

Определим массовую долю пара, образующегося из недогретой воды при ее взрывном вскипании в сопле ствола, условившись, что $t_w = t_v$, t_b = 100 °С и H_w^{tb} = 419,1 кДж/кг, при этом воспользуемся данными из [156] и формулой (2.36). Результаты и исходные данные для разных температур недогретой воды и пара сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 — Показатели удельной энтальпии и массового содержания пара при различных температурах

t_w и t_v, °С	H_w^{tw}, кДж/кг	H_v^{tv}, кДж/кг	β
170	719,2	2767,9	0,128
200	852,4	2792,1	0,183
250	1085,7	2801,0	0,280
300	1344,8	2749,6	0,397

Диаграмма изменения массового содержания пара в струе температурно-активированной воды в зависимости от температуры недогретой воды перед пожарным стволом показана на рисунке 2.13.

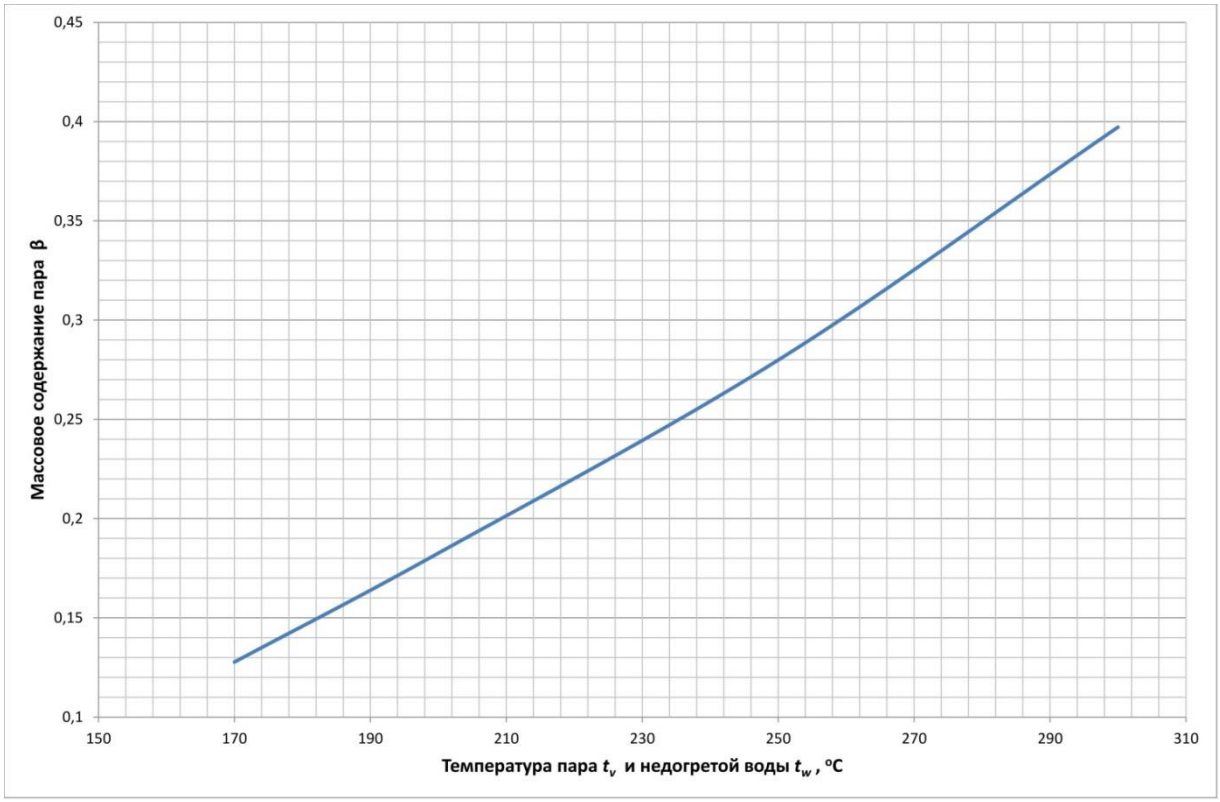


Рисунок 2.13 — Массовое содержание пара при различных температурах недогретой воды

Таким образом, при температуре недогретой воды 170 °С не более 13 % недогретой воды по массе переходит в насыщенный пар, часть из которого

конденсируется в капли первой моды, а оставшаяся — остается в газообразном состоянии. Градиент вектора скорости капельной и паровой фаз струи имеет максимум вдоль оси вращения конической струи температурно-активированной воды и направлен от среза сопла ствола. Определить степень расширения пара, следовательно, и увеличение его объема в рамках данной работы не представляется возможным. По некоторым данным, испаряясь, вода увеличивается в объеме в 1200 раз. На основании этого можно сказать, что преобразованные в пар 13 % недогретой воды по массе во много раз увеличат объем несущей паровой фазы. При этом суммарное удельное электрическое сопротивление смеси капель первой и второй моды будет почти таким же, как и удельное электрическое сопротивление недогретой воды до ее взрывного вскипания.

С учетом скорости каждой отдельной капли в струе температурно-активированной воды, ее импульса, возможных процессов испарения, конденсации, коагуляции и дробления, можно предположить изменение процентных соотношений объемного (массового) содержания капель с ростом расстояния от среза сопла ствола и до поверхности электроустановки. Поэтому концентрация капель в струе будет зависеть от расстояния $C_v \sim l_{\text{полн}}$. Установить эту зависимость можно опытным путем. Если перечисленные процессы в струе температурно-активированной воды имеют пренебрежимо малое влияние на концентрацию капель, то зависимость C_v от $l_{\text{полн}}$ будет иметь линейный характер и межфазными взаимодействиями можно пренебречь. В противном случае при нелинейном характере зависимости (не зависящей от «коничности» струй температурно-активированной воды), этими процессами пренебрегать нельзя.

Основание полагать, что концентрация капельной фазы в общем объеме струи температурно-активированной воды имеет нелинейный характер, дает тот факт, что струя имеет неоднородности. В ней можно выделить как минимум три участка, изображенных на рисунке 2.14.

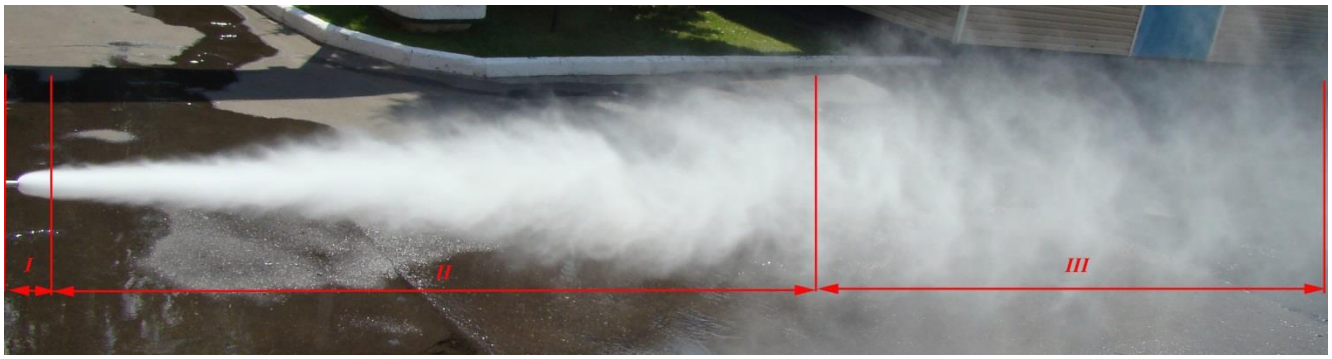


Рисунок 2.14 — Три участка струи температурно-активированной воды дальнобойного ствола

На рисунке 2.14 изображены следующие участки:

I — участок, содержащий центральное ядро вспененной пузырьками пара метастабильной воды, который может выходить на определенное расстояние за сопло ствола для подачи температурно-активированной воды и иметь повышенную электрическую проводимость. Этот участок образует электропроводящий кластер, связи отдельных пузырьков в котором определяют пониженное эффективное удельное сопротивление $\rho_{эф}$ струи температурно-активированной воды.

II — участок отдельно существующих капель воды в несущей среде насыщенного мокрого пара, импульсы капель которого позволяют сохранять их относительно прямолинейное движение и говорить о ламинарности потока.

III — участок разрушения струи, где скорость капель падает на столько, что самые крупные из них коагулируют и выпадают под действием силы тяжести на подстилающую поверхность (землю), а остальные теряют скорость и закручиваются в турбулентный поток, который дает возможность окружающему воздуху проникнуть в струю температурно-активированной воды разбавляя ее.

Для упрощения общей картины, описывающей состояния потока капель в струе температурно-активированной воды по всему ее объему (от среза сопла ствола до поверхности электроустановки под напряжением), его (поток) можно считать установившимся течением. В этом квазистационарным потоке основные интегральные величины: вектор скорости $\vec{U}_t$, давление p_t, плотность ρ_t, энтропия S_t не зависят от времени, а являются только функциями расстояния l [157–181] поэтому их производные по времени равны нулю:

$$\frac{\overrightarrow{dU_t}}{dt}=0;\ \frac{dp_t}{dt}=0;\quad \frac{d\rho}{dt}=0;\quad \frac{dS_t}{dt}=0. \tag{2.37}$$

Рассмотрим квазистационарность струй температурно-активированной воды при нахождении их в низкочастотных электромагнитных полях и при протекании гармонического тока частотой 50 Гц, воспользовавшись положениями из [184].

Размер, капель в несущей паровой среде много больше молекулярно-кинетических размеров, что позволяет говорить о «сплошности» среды и пренебречь влиянием расстояния между молекулами и длиной их свободного пробега на эффективные электрические параметры струй температурно-активированной воды. Кроме того, длина волны $\lambda \sim C_{\text{св}}/F$ соответствующая (в воздушной диэлектрической среде окружающей струю температурно-активированной воды) частоте электромагнитного поля F (она же частота переменного тока электроустановки), велика по сравнению с длиной $l_{\text{полн}}$ струи:

$$F \ll \frac{C_{\text{св}}}{l_{\text{полн}}}\ , \tag{2.38}$$

где λ — длина волны электромагнитного поля на месте тушения электроустановки, м; F — частота электромагнитного поля, Гц; $C_{\text{св}} \approx 3\cdot10^8$ — скорость света, м/с.

Для частоты F = 50 Гц условие (2.38) выполняется, поэтому электромагнитное поле и токи, протекающие на месте тушения электроустановки, можно считать квазистационарными и пренебречь молекулярными и атомарными эффектами влияния на эффективные электрические параметры. Эти особенности, безусловно, проявятся на больших частотах (на несколько порядков больше частоты 50 Гц переменного тока промышленных электроустановок), а эффективные электрические параметры приобретут зависимость от частоты и комплексный характер.

Размер капель в струе температурно-активированной воды много меньше расстояний, на которых макроскопические или осредненные параметры двухфазной среды существенно изменяются. Таким образом, можно

рассматривать электрическое поле в струе температурно-активированной воды, усредненное по объему, большим по сравнению с масштабами даже самых больших капель. По отношению к такому среднему полю смесь пара и капель воды в струях является однородной и изотропной средой и как таковая может характеризоваться определенными осредненными эффективными электрическими параметрами: удельное сопротивление $\rho_{эф}$, относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_{эф}$ и относительная магнитная проницаемость $\mu_{эф.j}$.

Таким образом, при нахождении осредненных эффективных электрических параметров $\rho_{эф}$, $\varepsilon_{эф}$, $\mu_{эф.j}$ будет справедлива *перколяционная модель протекания* постоянного тока, через усеченный конус, состоящий из смеси сферических проводящих включений разного диаметра в непроводящей среде. Концентрация проводящих включений снижается вдоль центральной оси конуса от его усеченной части до основания. Распределение проводящих сферических включений по объему конуса не зависит от времени (квазистационарно), а зависит лишь от расстояния от усеченной вершины до основания.

Усеченным конусом, в нашем случае является струя температурно-активированной воды [183] (см. рисунок 2.4.). В качестве проводящих сферических включений разного диаметра выступает смесь капель воды первой и второй моды. Капли воды, образовавшиеся в результате разрушения пузырьков вспененного метастабильного ядра, обладают повышенной проводимостью, так как насыщенны ионами примесей. Распределение этих капель по диаметрам описано гистограммой второй моды (см. рисунок 2.9). Капли дистиллированной воды, возникшей в результате частичной конденсации насыщенного пара, образуют капельную среду с пониженной электропроводимостью. Распределение этих капель по диаметрам описано гистограммой первой моды. Смесь капель первой и второй моды обладает удельным сопротивлением, которое равно удельному сопротивлению недогретой воды перед соплом ствола. Непроводящей средой является газообразный несконденсированный пар. Объем несущей паровой фазы можно считать диэлектриком, так как неионизированные газы не являются проводниками электричества.

Такие признаки, как: квазистационарность; наличие проводящих включений, образующих трехмерную сетку в непроводящей среде; наличие проводящих кластеров, — позволяют говорить о струях температурно-активированной воды и о протекающем по ним токе, как о *перколяционной системе*, а электрические процессы описывать с помощью *теории протекания* (*перколяции*) [184–194]. В работах [195–197] рассмотрены электрофизические свойства неупорядоченных перколяционных систем. Струи температурно-активированной воды являются неупорядоченной двухфазной системой, в которой дисперсная фаза содержит проводящие включения (в нашем случае — смесь капель воды первой и второй моды) с проводимостью $\sigma_в$ и нормированной к единице объемной концентрацией C_v, а дисперсионная фаза является непроводящей средой (в нашем случае — насыщенный газообразный пар) с проводимостью $\sigma_п$ и объемной концентрацией $(1 - C_v)$. Наличие в струе температурно-активированной воды участка I с ядром вспененной паром воды говорит, о присутствии перколяционного перехода с резким скачком проводимости, который наступает при некой критической концентрации $C_v^{кр}$. При этом дисперсная и дисперсионные фазы в гетерогенной струе температурно-активированной воды меняются местами, т. е. несущей проводящей средой для непроводящих пузырьков пара становится вспененная вода. Исходя из изложенного выше, на участках струи температурно-активированной воды с разной концентрацией C_v (участки I; II и III) аналитические выражения для эффективных электрических параметров будут различными. Однако на каждом из отдельных участков (например только участок II), формулы для определения эффективного удельного сопротивления $\rho_{эф}$, эффективной относительной диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{эф}$ и эффективной относительной магнитной проницаемости $\mu_{эф.j}$ будут иметь схожую идентичную структуру. Основание полагать, что это именно так, дает схожесть уравнений Максвелла, описывающих квазистатические электрические и магнитные поля в установившемся двухфазном потоке струи температурно-активированной воды [122–125, 182]:

$$\begin{cases} div\vec{j} = 0 \\ rot\vec{E} = 0 \\ \vec{j} = \vec{E}/\rho_{эф} \\ \vec{D} = \vec{E}\varepsilon_{эф} \end{cases}; \qquad \begin{cases} div\vec{B} = 0 \\ rot\vec{H} = 0 \\ \vec{B} = \vec{H}\mu_{эф} \end{cases}, \tag{2.39}$$

где E — напряженность электрического поля, В/м; j — плотность электрического тока, А/м^2; H — напряженность магнитного поля, А/м; D — электрическая индукция, Кл/м^2; B — магнитная индукция, Тл.

С учетом зависимости концентрации проводящей фазы C_v от полной длины струи $l_{полн}$ эффективные электрические параметры будут также зависимы от длины струи температурно-активированной воды от среза сопла ствола до электроустановки и равны:

$$\begin{cases} \varepsilon_{эф}\left(l_{полн}\right) = f\left(\varepsilon_{п};\varepsilon_{в};C_v\left(l_{полн}\right)\right) \\ \mu_{эф.j}\left(l_{полн}\right) = f\left(\mu_{п};\mu_{в};C_v\left(l_{полн}\right)\right), \\ \rho_{эф}\left(l_{полн}\right) = f\left(\rho_{п};\rho_{в};C_v\left(l_{полн}\right)\right) \end{cases} \tag{2.40}$$

где $\varepsilon_п$ и $\varepsilon_в$ — диэлектрическая проницаемость пара и воды в струе температурно-активированной воды соответственно; $\mu_п$ и $\mu_в$ — магнитная проницаемость пара и воды в струе температурно-активированной воды соответственно; $\rho_п$ и $\rho_в$ — удельное сопротивление пара, воды в струе температурно-активированной воды соответственно.

В формулах (2.40) величины удельных сопротивлений, диэлектрических и магнитных проницаемостей для водяной и паровой фаз струй температурно-активированной воды могут быть найдены как опытным путем, так и из справочной литературы. Для водокапельной фазы в струе температурно-активированной воды эти величины должны соответствовать показателям недогретой воды и так же могу быть взяты из справочной литературы или установлены опытным путем. Аналитическое выражение для объемной концентрации $C_v(l_{полн})$ может быть получено путем математического моделирования или в результате эмпирических исследований.

Так как структура аналитических выражений в формулах (2.40) абсолютно одинаковая, (например, на участке II струи температурно-активированной воды), то достаточно привести аналитическое выражение для эффективной электрической проводимости $\sigma_{эф} = 1/\rho_{эф}$, которое в соответствии с [195–197] будет иметь вид:

$$\sigma_{эф}(l_{полн}) = \sigma_{п}\frac{\sigma_{в}\left(1+2C_{\nu}(l_{полн})\right)+2\sigma_{п}\left(1-C_{\nu}(l_{полн})\right)}{\left(1-C_{\nu}(l_{полн})\right)\sigma_{в}+\left(2+C_{\nu}(l_{полн})\right)\sigma_{п}}. \qquad (2.41)$$

Выражение (2.41) называется формулой Максвелла — Гарнетта и получено с помощью метода эффективной среды. Оно лишь дополнено с учетом зависимости C_{ν} от $l_{полн}$.

Для нахождения эффективной электрической проводимости на участке III струи температурно-активированной воды со средней концентрацией капель $C_{\nu} \leq \leq 0{,}01$, может быть использована формула Максвелла [182, 196, 197]:

$$\sigma_{эф}(l_{полн}) = \sigma_{п}\left(1+3C_{\nu}(l_{полн})\frac{\sigma_{в}-\sigma_{п}}{2\sigma_{п}+\sigma_{в}}\right). \qquad (2.42)$$

Участок I струи температурно-активированной воды характеризуется наличием *перколяционного перехода* и появлением электропроводящего ядра вспененной метастабильной воды с непроводящими паровыми пузырьками, т. е. дисперсная и дисперсионные фазы гетерогенного потока на этом участке меняются местами при $C_{\nu} \approx 0{,}999\ldots0{,}99$. Выражение для определения эффективной проводимости «для плохо проводящих включений в хорошо проводящей матрице» предложено на основе собственных выводов А.А. Снарским [197]:

$$\sigma_{эф}(l_{полн}) = \frac{\sigma_{в}\left(\sigma_{п}+\sigma_{в}\right)}{5\sigma_{в}-2\sigma_{п}+3C_{\nu}(l_{полн})\left(\sigma_{п}-\sigma_{в}\right)}. \qquad (2.43)$$

Из визуального анализа формул (2.41)–(2.43) можно сделать вывод о том, что задача нахождения эффективного удельного сопротивления $\rho_{эф}$, эффективной относительной диэлектрическая проницаемости $\varepsilon_{эф}$ и эффективной относительной магнитной проницаемости $\mu_{эф.j}$ сводится к определению объемной концентрации $C_{\nu}(l_{полн})$.

2.4 Связь объемной концентрации фаз в гетерогенном потоке струи температурно-активированной воды с ее электрическим сопротивлением постоянному току

Объемная концентрация $C_v(l_{полн})$ может быть определена как теоретическим путем с помощью математического моделирования [157–181], так и эмпирически — проведением эксперимента [152–155]. Первый случай требует разработки математической модели движения частиц в двухфазном парокапельном потоке, что чревато поиском решения ряда сложных дифференциальных уравнений. Во втором случае модернизировать экспериментальную установку (см. рисунки 2.10–2.12) к проведению измерений по всей длине струи температурно-активированной воды и адаптировать данные полученные на масштабной модели к реальным струям из пожарных стволов АПМ, что тоже представляет сложную задачу.

Практическую значимость для тушения пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики представляет только участок II струи температурно-активированной воды. Участок струи I обладает повышенной проводимостью как из-за наличия вспененного кластера, так и по причине нелинейного характера комплексного сопротивления конической струи температурно-активированной воды. Протяженность участка I струи температурно-активированной воды не более нескольких сантиметров от среза сопла ствола. На этом участке риск поражения электрическим током при тушении электроустановок под напряжением многократно возрастает. По этим причинам, а также учитывая, что в ранее опубликованных работах по исследованию токопроводимости струй огнетушащих веществ рекомендованные расстояния тушения электроустановок под напряжением должны быть не менее 1 м (граничное условие), целесообразно в дальнейшем исследовании рассматривать только участок II струи температурно-активированной воды. Участок III струи может так же не учитываться при исследовании, так как огнетушащая способность на этом участке из-за разрушения струи будет низкой.

Найдем $C_v(l_{полн})$ для участка II струи температурно-активированной воды (см. рисунок 2.24.), выполнив несложные преобразования выражения (2.41), и получим:

$$C_v(l_{полн}) = \frac{\left(\sigma_{эф}(l_{полн}) - \sigma_{п}\right)\left(2\sigma_{п} + \sigma_{в}\right)}{\left(\sigma_{эф}(l_{полн}) + 2\sigma_{п}\right)\left(\sigma_{в} - \sigma_{п}\right)}. \quad (2.44)$$

В выражении (2.44) присутствует эффективная удельная электрическая проводимость, зависящая от длины струи температурно-активированной воды $\sigma_{эф}(l_{полн})$, которая является величиной обратной эффективного удельного сопротивления $\sigma_{эф}(l_{полн}) = 1/(\rho_{эф}(l_{полн}))$. С учетом этого найдем $\sigma_{эф}(l_{полн})$ из формулы (2.15) для сопротивления постоянному току струи температурно-активированной воды в форме усеченного конуса. Учтем также, что сопротивление струи зависит от ее длины $l_{полн}$, и получим:

$$\sigma_{эф}(l_{полн}) = \frac{l_{полн}\operatorname{ctg}(\alpha/2)}{R(l_{полн})\pi y_1(l_{полн} + y_1\operatorname{ctg}(\alpha/2))}, \quad (2.45)$$

где $R(l_{полн})$ — сопротивление струи температурно-активированной воды постоянному току, зависящее от длины струи, Ом; $l_{полн}$ — длина струи температурно-активированной воды, м; α — угол раскрытия струи, рад; y_1 — радиус среза сопла ствола, м.

Совместное рассмотрение формул (2.44) и (2.45) показывает прямую зависимость объемной концентрации $C_v(l_{полн})$ от сопротивления струи температурно-активированной воды постоянному току $R(l_{полн})$.

Сопротивление $R(l_{полн})$ имеет смысл внутреннего сопротивления источника постоянного тока, который представляет из себя струя температурно-активированной воды (см. п. 1.5, гл. 1). Для его измерения необходимо создать режим короткого замыкания в источнике постоянного тока. В этом случае найти $R(l_{полн})$ можно решая систему уравнений:

$$\begin{cases} U_{х.х} = U - 0 \\ 0 = U - R\left(l_{полн}\right) I_{к.з} \end{cases}, \quad (2.46)$$

где $U_{х.х}$ — напряжение источника постоянного тока на холостом ходу, В; $I_{к.з}$ — сила тока короткого замыкания, А; U — напряжение источника э.д.с., В.

Из решения системы уравнений (2.46) получаем:

$$R\left(l_{\text{полн}}\right)=\frac{U_{\text{х.х}}}{I_{\text{к.з}}}\ ,\ \text{при}\ U=U_{\text{х.х}}. \qquad (2.47)$$

Таким образом, для измерения сопротивления струи температурно-активированной воды постоянному току $R(l_{\text{полн}})$ необходимо создать режим короткого замыкания, когда ствол и мишень (корпус электроустановки), в которую попадает струя, объединены в одну электрическую цепь контура заземления. При этом не только нейтрализуется действие напряжения источника э.д.с. на измерительный прибор, но и имитируется ситуация, когда поверхность, на которой находится пожарный со стволом, становится проводящей (например, в результате намокания пола от проливов огнетушащего вещества), что соответствует обязательному учету факторов, повышающих вероятность поражения электрическим током.

Все величины, входящие в формулу (2.47), могут быть найдены опытно-экспериментальным путем. Это относится не только к измерению сопротивления $R(l_{\text{полн}})$, но и к нахождению других геометрических параметров. Длина струи температурно-активированной воды $l_{\text{полн}}$ может быть измерена непосредственно с помощью рулетки, а радиус среза сопла ствола y_1 — с помощью штангенциркуля и линейки. Эти величины при проведении вычислений будут неизменными, а точность их измерения будет зависеть только от точности метрологических приборов.

Более сложную задачу представляет нахождение угла раскрытия струи α. Этот параметр не может быть измерен непосредственно, но найти его можно обрабатывая изображения фото фиксации струи температурно-активированной воды в моменты измерения $R(l_{\text{полн}})$. В конструкции опытно-экспериментального стенда необходимо предусмотреть такую возможность.

2.5 Концепция опытно-экспериментального стенда для определения сопротивления постоянному току и угла раскрытия струй температурно-активированной воды

Проведенное теоретическое исследование параметров струй температурно-активированной воды, получаемых из стволов АПМ, позволяет предложить концепцию научно обоснованной конструкции опытно-экспериментального стенда для определения сопротивления постоянному току $R(l_{полн})$ и угла раскрытия α струй, получаемых из пожарных стволов АПМ при обычных режимах подачи температурно-активированной воды от УПТАВ.

Схема усовершенствованного опытно-экспериментального стенда представлена на рисунке 2.15. Необходимо отметить, что приведенная схема не является окончательным вариантом экспериментального стенда, а лишь концепция, позволяющая определить основные принципы получения и обработки эмпирических данных. Конструкция стенда может быть изменена и доработана в зависимости от условий экспериментального исследования.

Опытно-экспериментальный стенд состоит:

– из заземленной стойки держателя испытуемого ствола (на схеме не показана);

– подвижного сетчатого зонда на опорных изоляторах;

– заземленного металлического экрана;

– фото- и видеорегистраторов;

– многоканального регистратора с первичными преобразователями;

– цифрового мегаомметра с ноутбуком.

В опытно-экспериментальном стенде основным средством измерения является цифровой мегаомметр постоянного тока, подключаемый для съема показаний и управляемый с помощью ноутбука. Согласно требованиям п. 4.7 ГОСТ Р 8.568–2017 [198] средство измерения, используемое в качестве испытательного оборудования, допускается не подвергать аттестации на соответствие требованиям Государственной системы обеспечения единства

измерений в случае, если проведена предусмотренная для него оценка соответствия. Например, для мегаомметра, применяемого в опытно-экспериментальном стенде, необходим сертификат, утверждающий тип прибора и его поверку.

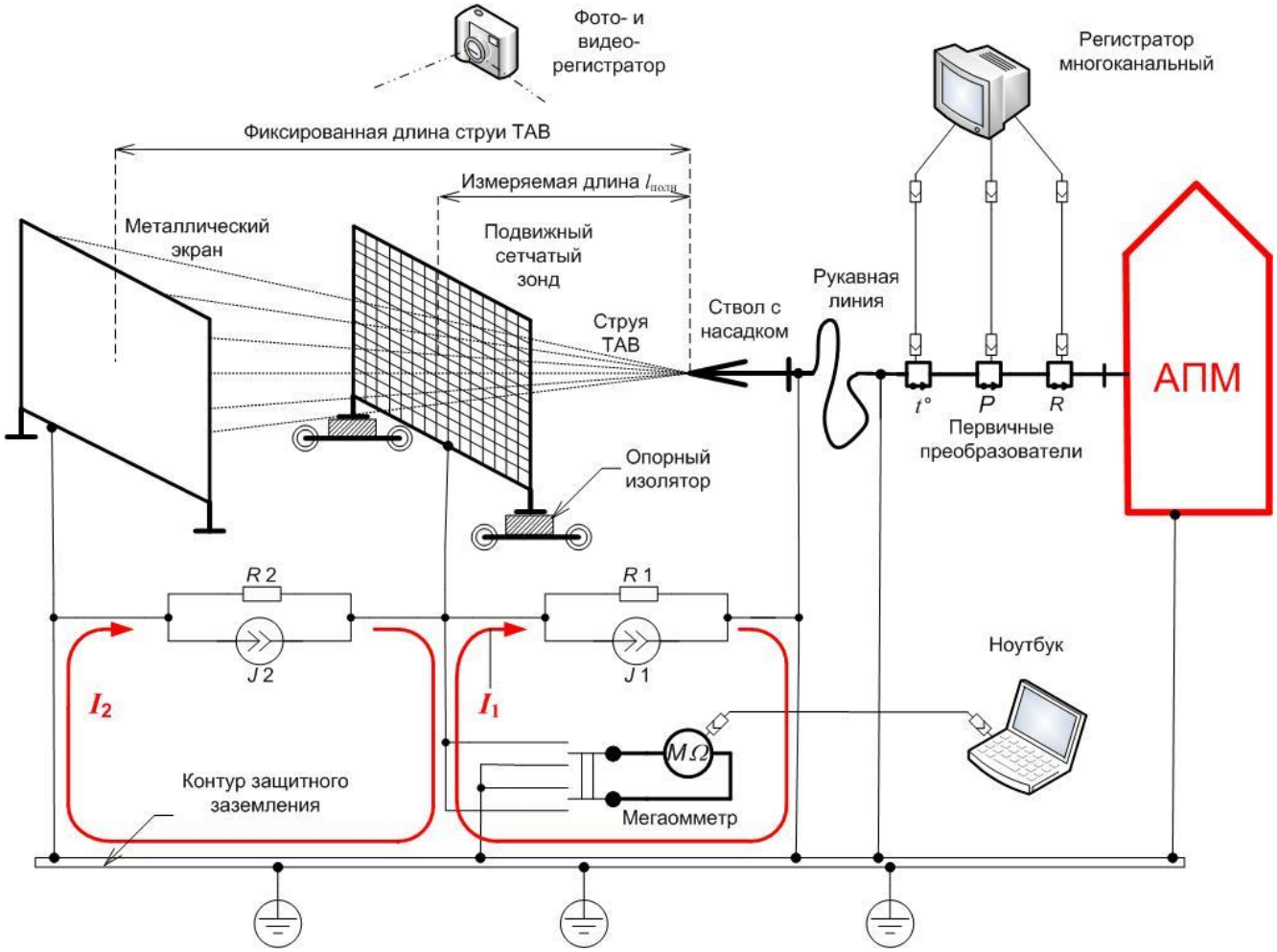


Рисунок 2.15 — Концептуальная схема опытно-экспериментального стенда для измерения сопротивления постоянному току и угла раскрытия струи температурно-активированной воды: ТАВ — температурно-активированная вода

Оператор УПТАВ организует подачу недогретой воды от АПМ к испытуемому стволу в одном из стандартных режимов температурно-активированной воды 40 или температурно-активированной воды 100 и следит за ее параметрами (температура, давление, расход) по показаниям индикаторных приборов [102]. При необходимости регистрации режимов подачи недогретой воды к испытываемому стволу может быть применен РМТ 59 с первичными преобразователями температуры, давления и расхода (см. рисунок 1.19).

Корпуса АПМ, первичных преобразователей, испытуемого ствола, металлического экрана соединены в одну электрическую цепь посредством общей шины и контура заземления. На схеме (см. рисунок 2.15) R1 сопротивление части струи температурно-активированной воды между испытываемым стволом и подвижным сетчатым зондом, а R_2 сопротивление части струи между подвижным сетчатым зондом и неподвижным металлическим экраном. Сопротивления R_1 и R_2 являются внутренними сопротивлениями источников тока J_1 и J_2 струи температурно-активированной воды. Поток капель воды в струе температурно-активированной воды, переносящий электроны, образует два электрических контура, по которым циркулируют встречные друг другу токи I_1 и I_2. Их сумма (с учетом направлений и величин токов) равна току $I_{общ}$, который будет вычитаться или складываться с измерительным током мегаомметра. Для нейтрализации влияния этого тока на показания мегаомметра проводятся равные количества измерений в верхнем и нижнем положении переключателя мегаомметра, полученные результаты усредняются. Общий источник э.д.с. струи температурно-активированной воды находится в режиме короткого замыкания, что исключает его влияние на показания мегаомметра.

Сопротивления R_1 и R_2 на схеме соединены параллельно, а их общее сопротивление измеряемое мегаомметром $R_{изм}$ равно:

$$R_{изм} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \tag{2.48}$$

Вместе с тем общее полное сопротивление струи температурно-активированной воды $R_{общ}$ равно:

$$R_{общ} = R_1 + R_2. \tag{2.49}$$

Очевидно, что при некотором положении подвижного сетчатого зонда (на некотором расстоянии от испытуемого ствола $l_{полн}$), существует точка, в которой выполняется условие:

$$\begin{cases} R_1 = R_2 = \dfrac{R_{общ}}{2} \\ I_1 = I_2 \end{cases}. \tag{2.50}$$

В этой точке величина параллельного соединения сопротивлений R_1 и R_2 достигнет максимума R_{max} и будет равна (при учете выражений (2.48) и (2.50)):

$$R_{max} = \frac{R_1^2}{2R_1} = \frac{R_2^2}{2R_2} = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{2}. \quad (2.51)$$

Отсюда следует, что:

$$2R_{max} = R_1 = R_2. \quad (2.52)$$

Таким образом, с учетом формулы (2.49) получаем:

$$R_{общ} = 2R_{max} + 2R_{max} = 4R_{max}. \quad (2.53)$$

Согласно выражению (2.53), общее сопротивление струи температурно-активированной воды от заземленного ствола до металлического заземленного экрана равно учетверенному максимальному сопротивлению R_{max}, измеренному мегаомметром на некотором расстоянии $l_{полн}$ от ствола до зондирующей сетки, где выполняется условие (2.50).

Для повышения точности измерения величины $R_{изм}$, а также нейтрализации влияния постоянной составляющей и ее флуктуаций, образующейся при переносе отрицательного заряда каплями струи температурно-активированной воды, необходимо провести n измерений сопротивления струи $R_{изм.i}$ при верхнем положении переключателя и k измерений сопротивления струи $R_{изм.j}$ при нижнем положении переключателя полярности щупов мегаомметра, при каждом увеличении расстояния на величину $\Delta l_{полн}$, а полученные данные усреднить по количеству измерений:

$$R_{изм} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_{изм.i} + \sum_{j=1}^{k} R_{изм.j}}{n+k}. \quad (2.54)$$

Для исключения влияния на результаты измерения $R_{изм.i}$ и $R_{изм.j}$ собственных сопротивлений опорных изоляторов сетчатого зонда их количество должно быть таким, чтобы их общее сопротивление превышало верхний предел измерения мегаомметра.

При перемещении зонда от точки с сопротивлением R_{max} в направлении к стволу, т. е. дальше от металлического экрана, сопротивление R_1 уменьшится на

величину ΔR, в то время как сопротивление R_2 возрастет на ту же величину ΔR. Таким образом, с учетом выражения (2.52) получим:

$$\begin{cases} R_1 = 2R_{\max} - \Delta R \\ R_2 = 2R_{\max} + \Delta R \end{cases}. \tag{2.55}$$

С учетом формул (2.48) и (2.55) будет справедливо выражение:

$$R_{\text{изм}} = \frac{4{R_{\max}}^2 - \Delta R^2}{4R_{\max}}. \tag{2.56}$$

После преобразований выражения (2.56) получим:

$$\Delta R = 2\sqrt{R_{\max}\left(R_{\max} - R_{\text{изм}}\right)}. \tag{2.57}$$

Подставляя формулу для определения ΔR в соотношение (2.55) для значения R_1 окончательно получим выражение определяющее массив значений $R(l_{\text{полн}})$:

$$\begin{cases} R(l_{\text{полн}}) = 2\left(R_{\max} - \sqrt{R_{\max}\left(R_{\max} - R_{\text{изм}}\right)}\right) & \text{при } R(l_{\text{полн}}) \le 2R_{\max} \\ R(l_{\text{полн}}) = 2\left(R_{\max} + \sqrt{R_{\max}\left(R_{\max} - R_{\text{изм}}\right)}\right) & \text{при } R(l_{\text{полн}}) > 2R_{\max} \end{cases}. \tag{2.58}$$

Для получения массива данных об усредненных геометрических параметрах струи температурно-активированной воды, зависящих от $l_{\text{полн}}$, используем формулу аналогичную (2.54) для угла раскрытия струи $\alpha(l_{\text{полн}})$:

$$\alpha(l_{\text{полн}}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_{\text{изм}.i} + \sum_{j=1}^{k} \alpha_{\text{изм}.j}}{n+k}. \tag{2.59}$$

Для получения непрерывных функций из массива значений $R(l_{\text{полн}})$ и $\alpha(l_{\text{полн}})$ необходимо аппроксимировать их аналитическими выражениями с доверительным интервалом 0,95.

2.6 Методика определения комплексных электрических параметров струй температурно-активированной воды

Определение условий безопасного и эффективного применения пожарных стволов АПМ и образуемых ими струй температурно-активированной воды для тушения пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики является одной из основных целей данного исследования. Обнаруженная особенность переноса отрицательного электрического заряда и присутствие постоянного электрического тока генерируемого струей сделали невозможными применение ранее известной и опробованной эмпирической методики определения токов утечки по струям огнетушащих веществ для струй температурно-активированной воды. Обязательный учет факторов, повышающих вероятность поражения личного состава электрическим током, стал одним из условий, определившим ход и результаты этого исследования. Названные причины послужили причиной для более детального теоретического исследования физических процессов, протекающих на месте тушения пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики. Результатом этой работы является предлагаемый, ранее не применявшийся, экспериментально-аналитический метод определения тока утечки по струям температурно-активированной воды и любым другим двухфазным гетерогенным струям огнетушащих веществ. Метод основан на теориях: электротехники; электрических цепей; перколяции; многофазных потоков.

Методика нахождения комплексной величины переменного синусоидального тока частой 50 Гц, протекающего через струю температурно-активированной воды при ее подаче из пожарного ствола АПМ на электроустановку под напряжением при тушении пожаров на объектах энергетики, состоит из следующих шагов.

1. При проведении исследований на опытно-экспериментальном стенде (см. рисунок 2.15) создаются условия квазистационарности гетерогенной двухфазной струи температурно-активированной воды, изучаемого ствола. Измерения

сопротивлений постоянному току $R_{\text{изм}.i}$ и $R_{\text{изм}.j}$ проводятся в количестве n и k серий, соответственно, в каждой точке по всей длине струи, начиная с минимального расстояния от ствола до сетчатого зонда с постепенным ступенчатым увеличением $l_{\text{полн}}$ с шагом $\Delta l_{\text{полн}} \approx$ 0,1–0,4 м. Полученный в каждой точке измерения массив значений сопротивлений $R_{\text{изм}.i}$ и $R_{\text{изм}.j}$ усредняется по формуле (2.54) в целях получения значения $R_{\text{изм}}$. Массивы эмпирических измеренных значения сопротивлений постоянному току $R_{\text{изм}.i}$ и $R_{\text{изм}.j}$ верны с некоторой вероятностью, математическое ожидание и дисперсия которых подчиняется нормальному закону распределения Гаусса. Поэтому в каждой точке измерения определяем доверительный интервал с погрешностью 5 % для усредненной величины сопротивления $R_{\text{изм}}$.

Строим зависимости вида и ее доверительный интервал:

$$R_{\text{изм}}(l_{\text{полн}}) = f(l_{\text{полн}}) . \qquad (2.60)$$

Из анализа кривой (2.60) находим величину $R_{\max}$ ее максимума. Применяя выражение (2.58), находим массив значений $R(l_{\text{полн}})$, а также ее доверительный интервал. Строим эти зависимости и аппроксимируем их аналитическим выражением с эмпирическими коэффициентами, график которого не выходит за пределы доверительного интервала:

$$R(l_{\text{полн}}) = g(l_{\text{полн}}) . \qquad (2.61)$$

При измерениях проводится фотофиксация изображения струи в моменты времени, соответствующие замерам сопротивлений $R_{\text{изм}\,i}$ и $R_{\text{изм}\,j}$. В каждой точке измерений получаем $n + k$ фотографий струи температурно-активированной воды. Используя специальное программное обеспечение, по фотографиям струй температурно-активированной воды определяем значения углов раскрытия $\alpha_{\text{изм}\,i}$ и $\alpha_{\text{изм}\,j}$. Используя выражение (2.59), находим массив значений $\alpha(l_{\text{полн}})$, для которых определяем доверительный интервал с погрешностью 5 % и значение угла раскрытия α струи температурно-активированной воды, получаемой из пожарного ствола АПМ.

2. Полученное аналитическое выражение (2.61) для $R(l_{\text{полн}})$ пожарного ствола и значения его геометрических параметров (длина струи температурно-

активированной воды $l_{полн}$; угол раскрытия струи α; радиус среза сопла ствола y_1) используются при нахождении эффективной удельной электрической проводимости $\sigma_{эф}(l_{полн})$ с применением выражения (2.45). Используя табличные значения из справочной литературы или данные кондуктометрии для удельной электрической проводимости воды $\sigma_в$ и пара $\sigma_п$, а также значения $\sigma_{эф}(l_{полн})$, из выражения (2.44) находим объемную концентрацию $C_v(l_{полн})$ для участка II струи температурно-активированной воды.

3. Используя массив значений объемной концентрации $C_v(l_{полн})$ для участка II струи температурно-активированной воды, полученный из выражения (2.44) и табличные значения из справочной литературы для диэлектрической проницаемости пара $\varepsilon_п$ и воды $\varepsilon_в$, а также заменяя ими $\sigma_п$ и $\sigma_в$ в выражении (2.41), находим массив значений эффективной относительной диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{эф}(l_{полн})$ по формуле

$$\varepsilon_{эф}(l_{полн}) = \varepsilon_п \frac{\varepsilon_в\left(1+2C_v(l_{полн})\right)+2\varepsilon_п\left(1-C_v(l_{полн})\right)}{\left(1-C_v(l_{полн})\right)\varepsilon_в+\left(2+C_v(l_{полн})\right)\varepsilon_п}. \qquad (2.62)$$

4. Используя массив значений $C_v(l_{полн})$ и табличные значения из справочной литературы для $\mu_п$ и $\mu_в$ (магнитная проницаемость соответственно пара и воды в струе температурно-активированной воды), находим массив значений эффективной относительной магнитной проницаемости $\mu_{эф\,j}(l_{полн})$ струи температурно-активированной воды с учетом того, что на участке II струи температурно-активированной воды формулы для нахождения $\mu_{эф\,j}(l_{полн})$ имеют структуру, идентичную с выражениями (2.41) и (2.62). Учитывая это, выражение для $\mu_{эф\,j}(l_{полн})$ примет вид:

$$\mu_{эф\,j}(l_{полн}) = \mu_п \frac{\mu_в\left(1+2C_v(l_{полн})\right)+2\mu_п\left(1-C_v(l_{полн})\right)}{\left(1-C_v(l_{полн})\right)\mu_в+\left(2+C_v(l_{полн})\right)\mu_п}. \qquad (2.63)$$

5. По формуле (2.18), используя массив значений $\varepsilon_{эф}(l_{полн})$ и геометрические параметры струи температурно-активированной воды, находим массив значений электрической емкости $C(l_{полн})$[1] струи температурно-активированной воды.

[1] Не следует путать обозначения электрической емкости $C(l_{полн.})$, зависящей от длины струи температурно-активированной воды, и объемной концентрации капельной фазы $C_v(l_{полн.})$, которая так же зависит от длины струи температурно-активированной воды.

6. По формуле (2.30), используя массив значений $\mu_{эф\,j}(l_{полн})$, табличное значение из справочной литературы для μ_e (относительная магнитная проницаемость внешней среды) и геометрические параметры, находим массив значений индуктивности $L(l_{полн})$ струи температурно-активированной воды.

7. Используя полученные массивы значений для сопротивления постоянному току $R(l_{полн})$; электрической емкости $C(l_{полн})$; индуктивности $L(l_{полн})$ струи температурно-активированной воды и задаваясь значением частоты переменного тока F = 50 Гц, по формуле (2.5) находим массив значений $|\dot{Z}(l_{полн})|$ модуля комплексного сопротивления струи (см. рисунок 2.11).

8. По формуле (2.4) находим массив значений модуля комплексной силы тока $|\dot{I}(l_{полн})|$, протекающей по струе температурно-активированной воды в зависимости от ряда значений модуля комплексного напряжения $|\dot{E}|$ электроустановки.

9. Находим массив амплитудного значения силы тока $I(l_{полн}) = \sqrt{2}|\dot{I}(l_{полн})|$ и строим зависимости силы тока от расстояния до электроустановки при различных значениях напряжения E.

10. Ограничиваем силу тока на уровне 0,5 мА и определяем безопасные расстояния тушения электроустановок различного напряжения для струи температурно-активированной воды, получаемой для исследуемого ствола.

Выводы по второй главе

Таким образом, предложенный экспериментально-аналитический метод определения тока утечки по струе температурно-активированной воды решает ряд задач и проблемных вопросов:

1. Нейтрализуется влияние на результаты измерений электрических эффектов генерации э.д.с. и тока струей температурно-активированной воды.

2. Повышается точность измерений за счет отсутствия неопределенных эмпирических коэффициентов в аналитических выражениях описывающих

электрофизические процессы на месте тушения пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

3. Граничные условия, в предлагаемом экспериментально-аналитическом методе, выбраны с учетом факторов повышающих вероятность поражения электрическим током пожарного, работающего со стволом.

4. Экспериментально-аналитический метод измерений применим для определения электропроводности любых струй огнетушащих веществ (водяные распыленные и тонкораспыленные, пенные, порошковые и т. д. и т. п.).

ГЛАВА 3 КРИТЕРИИ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

3.1 Проведение экспериментального исследования и предварительная обработка результатов

Экспериментальное исследование проводилось в соответствии с «Программой и методикой экспериментального исследования сопротивления постоянному току и угла раскрытия струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого» (далее — Программа) (приложение А). Программа разработана на основе теоретических исследований изложенных в гл. 2 настоящей диссертации и в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 15.211–2002 [199].

При реализации Программы использован опытно-экспериментальный стенд (приложение Б) по исследованию сопротивления постоянному току и угла раскрытия струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов АПМ (далее — Стенд), изготовленный в соответствии с ГОСТ Р 8.568–2017 [198] и научно обоснованными выводами из настоящей диссертации.

В Стенде использован поверенный и аттестованный по метрологии и безопасности мегаомметр модели M4122U, проводящий основные измерения сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды (рисунок 3.1). Мегаомметр обеспечивает измерение сопротивления в диапазоне от 100 кОм до 200 ГОм при измерительном напряжении постоянного тока 2500 В. Предел допускаемой основной относительной погрешности M4122U не более ±3%. Мегаомметр по типу защиты от поражения электрическим током соответствует требованиям безопасности по ГОСТ 22261–94 [200], ГОСТ Р 52319–2005 [201] в части требований, предъявляемых к приборам класса защиты

II и удовлетворяет нормам класса Б по ГОСТ Р 51522.1–2011 [202]. Прибор оснащен USB-портом и интерфейсом для связи с компьютером, на котором устанавливается программа управления, позволяющая выполнять следующие действия:

– настраивать мегаомметр на нужный режим работы;

– проводить периодические измерения сопротивления;

– сохранять отчеты в электронной таблице Excel.

Рисунок 3.1 — Мегаомметр M4122U с комплектующими

Для фотофиксации моментов измерения сопротивления струй температурно-активированной воды применен цифровой фотоаппарат Nikon D3200Kit 18-140 VR в режиме автоматического управления по инфракрасному каналу. Сигнал светодиодного индикатора HV мегаомметра M4122U, срабатывающий в момент измерения сопротивления, с помощью фотоэлемента поступает в электронный модуль, преобразующий его в цифровой ИК-сигнал управления фотоаппаратом (рисунки 3 и 5 из Методики, см. приложение А). Фотоаппарат на штативе располагался на расстоянии 8 м от струи температурно-активированной воды так, чтобы ось объектива была нормалью к вектору подачи струи.

Испытания проводились в нормальных климатических условиях по ГОСТ 15150–69 [203], при отсутствии осадков, температуре воздуха от 10 до 30 ℃ и скорости бокового ветра, оказывающего воздействие на струю температурно-

активированной воды, не более 1 м/с. Температура воздуха и скорость ветра измерялась с помощью цифрового анемометра МЕГЕОН 11002 (рисунок 4 из Методики, см. приложение А). Точность измерения климатических параметров анемометром составила:

– по температуре воздуха — ± 2 ℃;

– по скорости ветра — ± 5 %.

В соответствии с Программой объектом экспериментального исследования являлись пожарные стволы для подачи температурно-активированной воды, предметом исследования — электрические сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды и их углы раскрытия. Были проведены следующие испытания:

1) ствол-трансформер (шайба с острой кромкой);

а) в положении для подачи компактной струи;

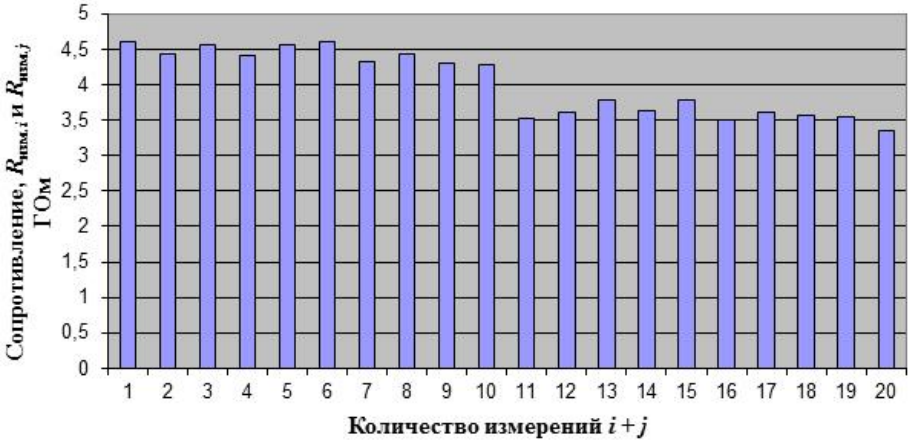
б) в положении для подачи распыленной струи;

2) ствол-пика (сопло Лаваля);

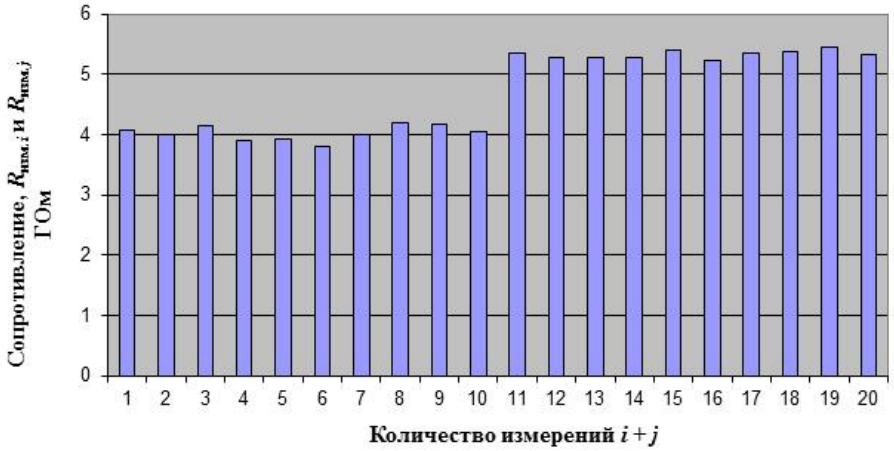
3) ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью).

Полученные результаты были подвергнуты предварительной обработке и оформлены в виде актов и протоколов (приложение В).

После установления квазистационарного режима подачи струи температурно-активированной воды из испытуемого ствола сетчатый зонд располагался на фиксированных расстояниях от среза сопла ствола с шагом $\Delta l_{\text{полн}}$ м. В этой точке в автоматическом режиме мегаомметром проводилось $i = 10$ измерений сопротивления постоянному току $R_{\text{изм}\,i}$ ГОм и такое же количество фотоснимков струи температурно-активированной воды. Затем менялась полярность подключения щупов мегаомметра и выполнялось еще $j = 10$ измерений $R_{\text{изм}\,j}$ и фотоснимков струи температурно-активированной воды. Аналогичным образом проводились измерения в других контрольных точках (измерение 1 … N) для всех стволов подачи температурно-активированной воды. Значения сопротивлений постоянному току струй температурно-активированной воды для различных типов стволов на расстоянии 1,2 м между срезом сопла и сетчатым зондом приведены на рисунке 3.2.



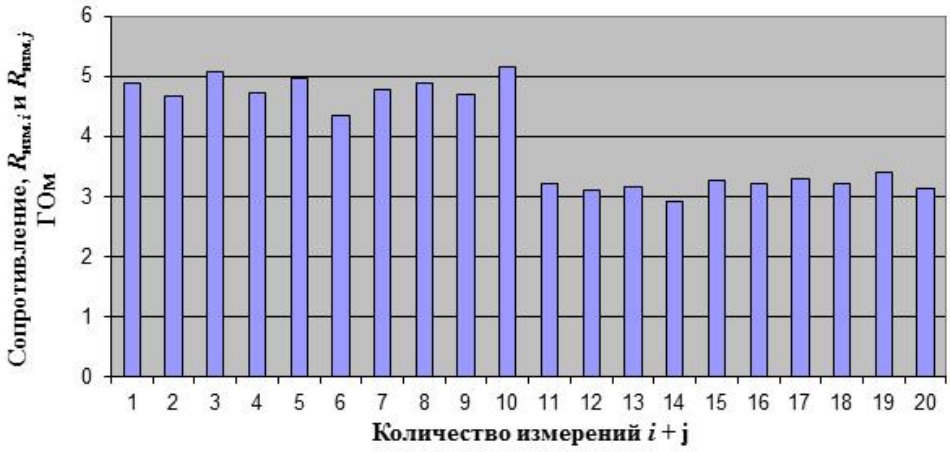
а



б

в

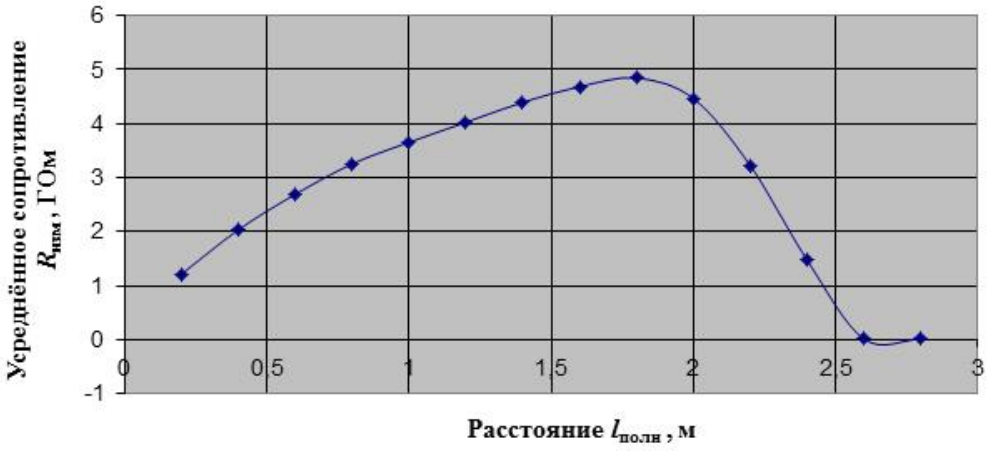
Рисунок 3.2 (начало) — Диаграмма сопротивлений $R_{изм.i}$ и $R_{изм.j}$, измеренных мегаомметром М4122U:
а — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи компактной струи (экспериментальное исследование 1 (а), измерение 6);
б — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи распыленной струи (экспериментальное исследование 1 (б), измерение 6);
в — ствол-пика (сопло Лаваля) (экспериментальное исследование 2, измерение 6)



г

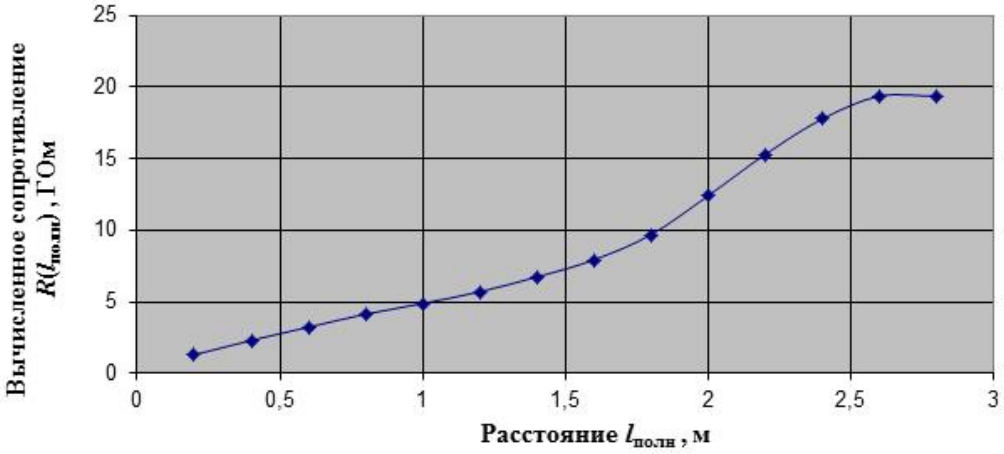
Рисунок 3.2 (окончание) — Диаграмма сопротивлений $R_{изм.i}$ и $R_{изм.j}$, измеренных мегаомметром М4122U:
г — ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью) (экспериментальное исследования 3, измерение 4)

Для нейтрализации действия постоянной составляющей тока струй температурно-активированной воды и ее флуктуаций (см. рисунок 3.2), применялось усреднение результатов измерения $R_{изм\,i}$ и $R_{изм\,j}$ в каждой точке измерения по всей длине струи температурно-активированной воды l, м, от среза сопла ствола до металлического экрана по формуле (2.54). Из полученного в результате проведения измерений 1 … N массива усредненных значений сопротивления $R_{изм}$ выбиралось максимальное значение R_{max}, ГОм. В соответствии с выражением (2.58) производилось вычисление значения сопротивления $R(l_{полн})$ для измерений в каждой контрольной точке. Полученные значения сопротивлений $R_{изм}$; R_{max} и $R(l_{полн})$ заносились в протоколы (см. приложение В). Результаты определения этих величин представлены на рисунках 3.3–3.6.



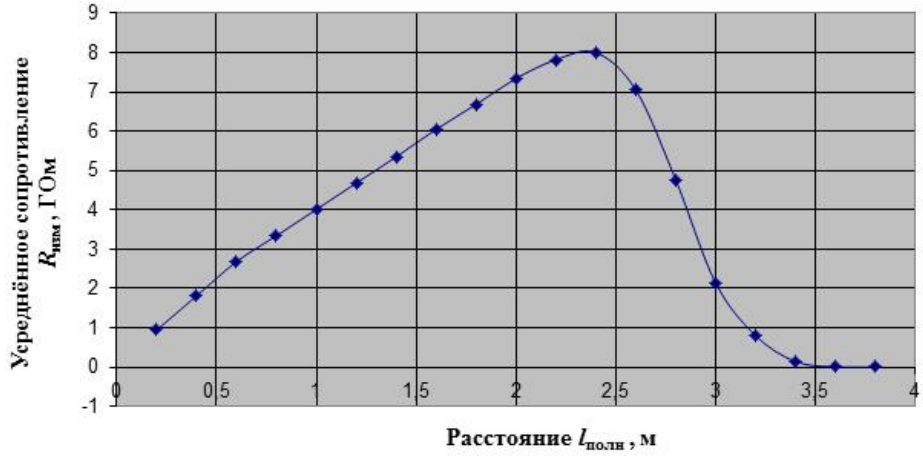
а

Рисунок 3.3 (начало) — График сопротивления постоянному току струи температурно-активированной воды в зависимости от расстояния (ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в виде компактной струи (экспериментальное исследование 1 (а)):
а — усредненное сопротивление $R_{изм}$

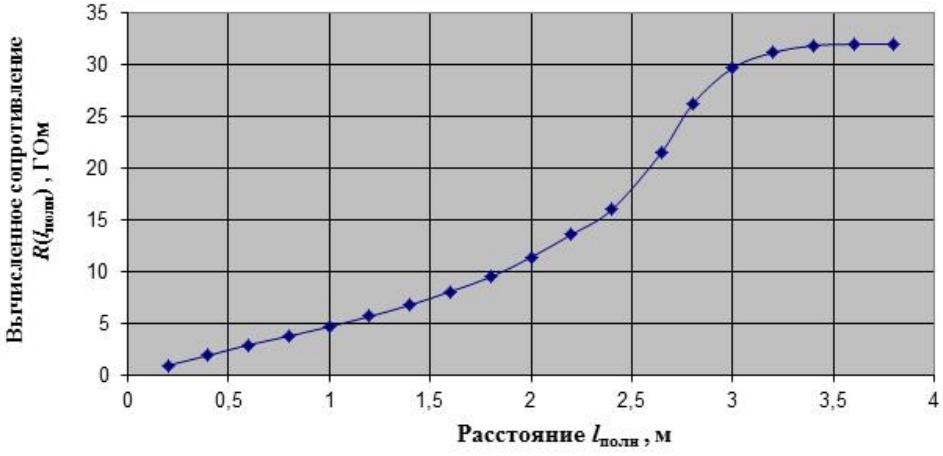


б

Рисунок 3.3 (окончание) — График сопротивления постоянному току струи температурно-активированной воды в зависимости от расстояния (ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в виде компактной струи (экспериментальное исследование 1 (а)):
б — вычисленное сопротивление $R(l_{полн})$

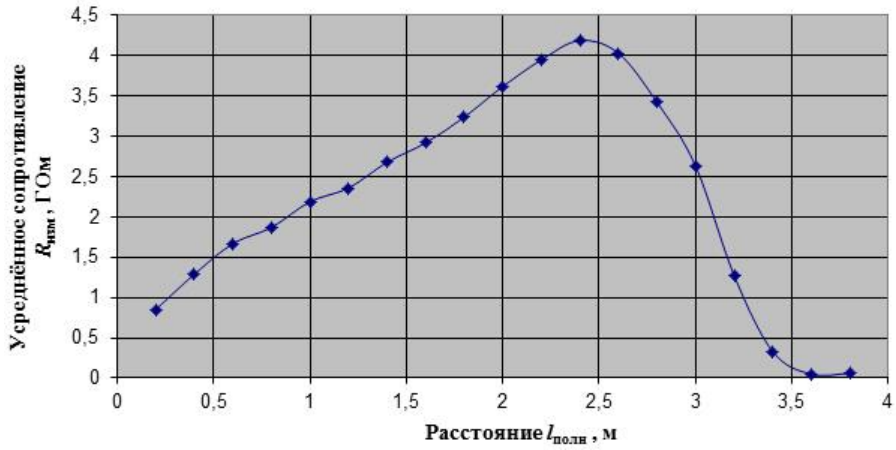


а

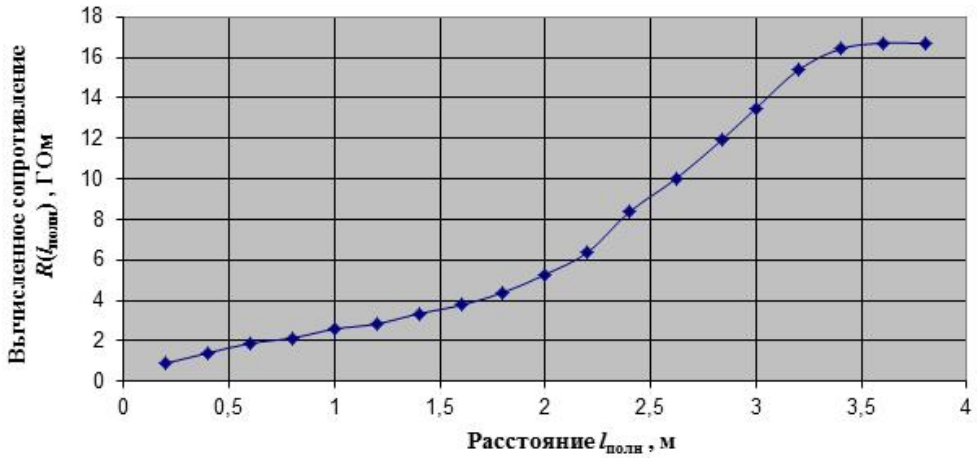


б

Рисунок 3.4 — График сопротивления постоянному току струи температурно-активированной воды в зависимости от расстояния (ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в виде распыленной струи; экспериментальное исследование 1 (б)):
а — усредненное сопротивление $R_{изм}$; *б* — вычисленное сопротивление $R(l_{полн})$

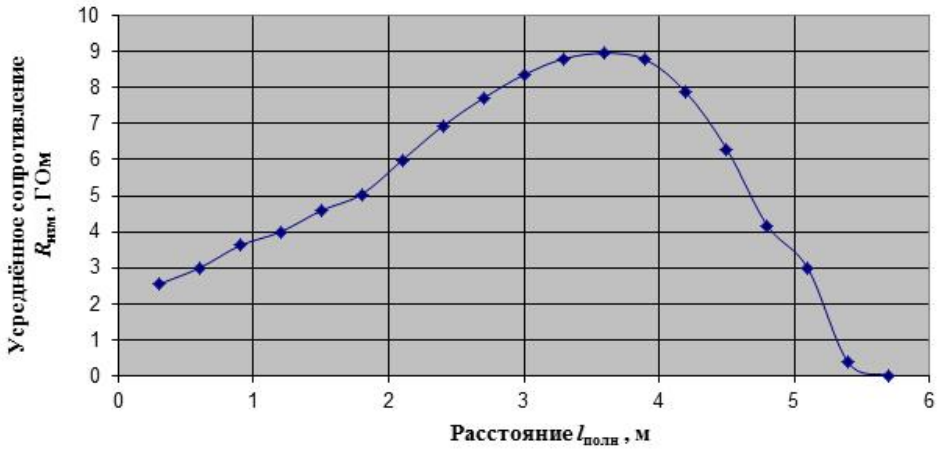


а



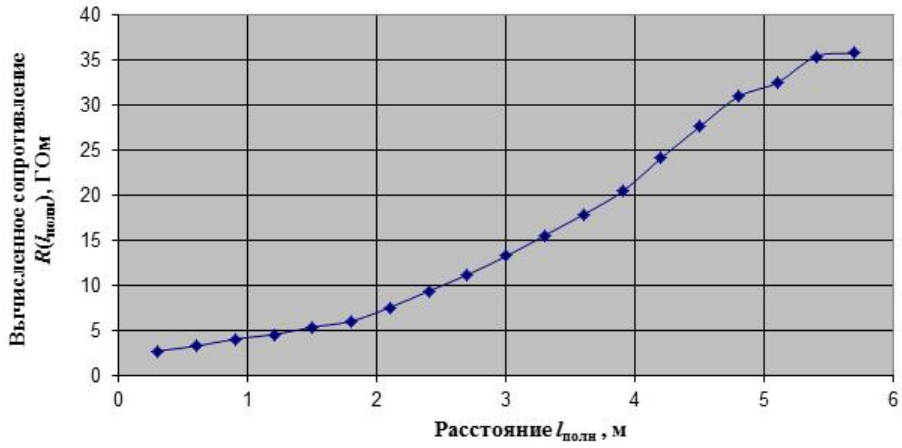
б

Рисунок 3.5 — График сопротивления постоянному току струи температурно-активированной воды в зависимости от расстояния (ствол-пика (сопло Лаваля); экспериментальное исследование 2):
а — усредненное сопротивление $R_{изм}$; *б* — вычисленное сопротивление $R(l_{полн})$



а

Рисунок 3.6 (начало) — График сопротивления постоянному току струи температурно-активированной воды в зависимости от расстояния (ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью); экспериментальное исследование 3):
а — усредненное сопротивление $R_{изм}$



б

Рисунок 3.6 (окончание) — График сопротивления постоянному току струи температурно-активированной воды в зависимости от расстояния (ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью); экспериментальное исследование 3): *б* — вычисленное сопротивление $R(l_{полн})$

Для дальнейших вычислений требуется нахождение углов раскрытия $\alpha(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды. Для этого необходимо подвергнуть анализу массив фотоснимков струй температурно-активированной воды, сделанных в моменты измерения сопротивлений (см. приложение В). Фотоснимки обрабатывались с помощью программного продукта iPhotoMEASURE Version 3, позволяющего определять линейные размеры объектов, изображенных на фотоснимках. Процесс нахождения линейных размеров требует наличия на фотоснимках эталонного объекта (далее — маркер) с известными размерами (высота и ширина). В качестве такого маркера на стойке экспериментального стенда был закреплен квадрат размерами 0,1×0,1 м из белого пластика. Для увеличения контрастности маркера была применена обработка с помощью программного продукта Adobe Photoshop CS3 (рисунок 3.7).

Дальнейшая обработка изображения сводится к определению с помощью iPhotoMEASURE Version 3 размеров боковых сторон и основания равнобедренного треугольника, являющегося проекцией конической формы струи температурно-активированной воды на плоскость фотоснимка.

Рисунок 3.7 — Фотоснимок струи температурно-активированной воды, подаваемой из ствола-трансформера (компактная струя) на расстоянии $l_{полн}$ = 1,2 м, и маркеры (белый и черный квадрат), обработанные с помощью программного продукта Adobe Photoshop

По известным сторонам равнобедренного треугольника находится массив значений углов у его вершины (рисунок 3.8), которые будут являться углами раскрытия струй температурно-активированной воды $\alpha_{изм\ i}$ и $\alpha_{изм\ j}$.

MEASUREMENTS

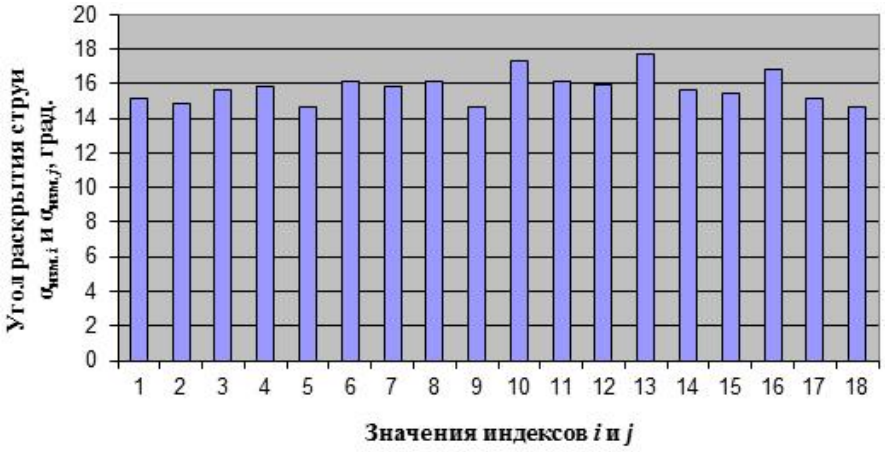
DIGITARGET: DSC_8779		Width 0.1 m.	Height 0.1 m.
A. measure1	Line	Length 1.67 m.	
B. measure2	Line	Length 1.67 m.	
C. measure3	Line	Length 0.51 m.	

Угол раскрытия струи, град.	17,57

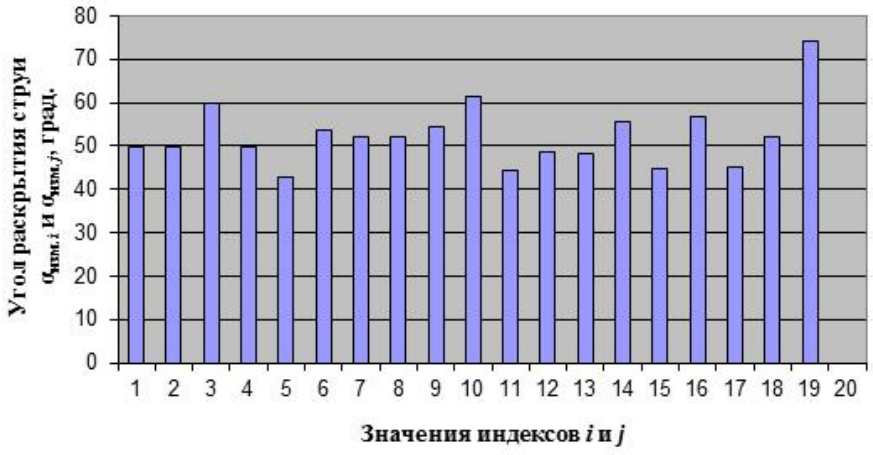
Рисунок 3.8 — Результат обработки изображения струи температурно-активированной воды, подаваемой на сетчатый зонд из ствола-трансформера (компактная струя) на расстоянии $l_{полн}$ = 1,2 м

Найденные углы раскрытия струй температурно-активированной воды заносились в протоколы (см. приложение В). Для минимизации влияния случайных неточностей в измерении углов раскрытия струй температурно-активированной воды применялось усреднение результатов измерения $\alpha_{изм\ i}$ и $\alpha_{изм\ j}$ в каждой точке по всей длине струи температурно-активированной воды l, м, от

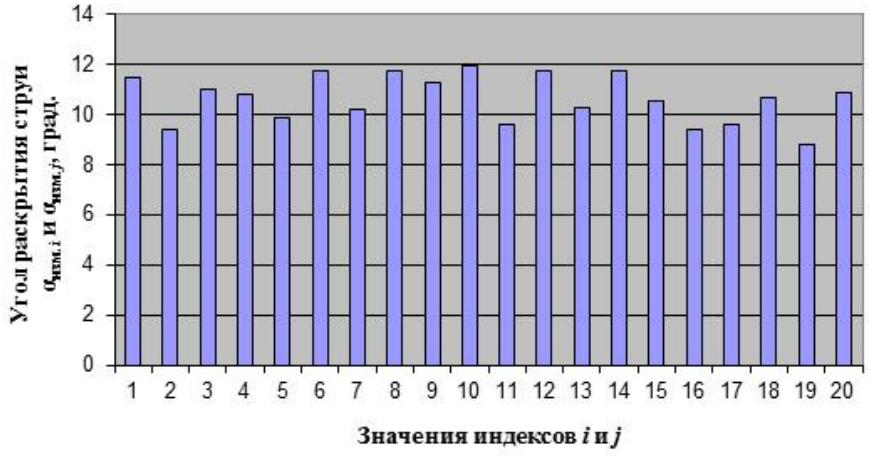
среза сопла ствола до металлического экрана по формуле (2.59). Значения углов раскрытия струй температурно-активированной воды для различных типов стволов на расстоянии 1,2 м между срезом сопла и сетчатым зондом приведены на рисунке 3.9.



а

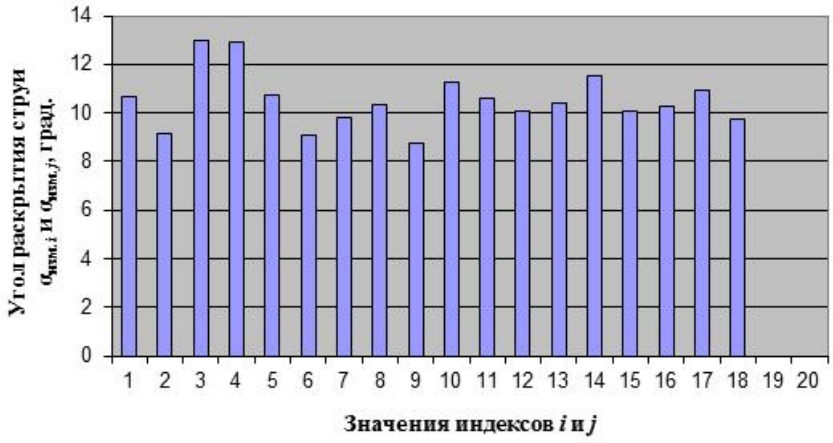


б



в

Рисунок 3.9 (начало) — Диаграмма углов раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$ и $\alpha_{изм\ j}$:
а — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи компактной струи (экспериментальное исследование 1 (а), измерение 6);
б — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи распыленной струи (экспериментальное исследование 1 (б), измерение 6);
в — ствол-пика (сопло Лаваля) (экспериментальное исследование 2, измерение 6)

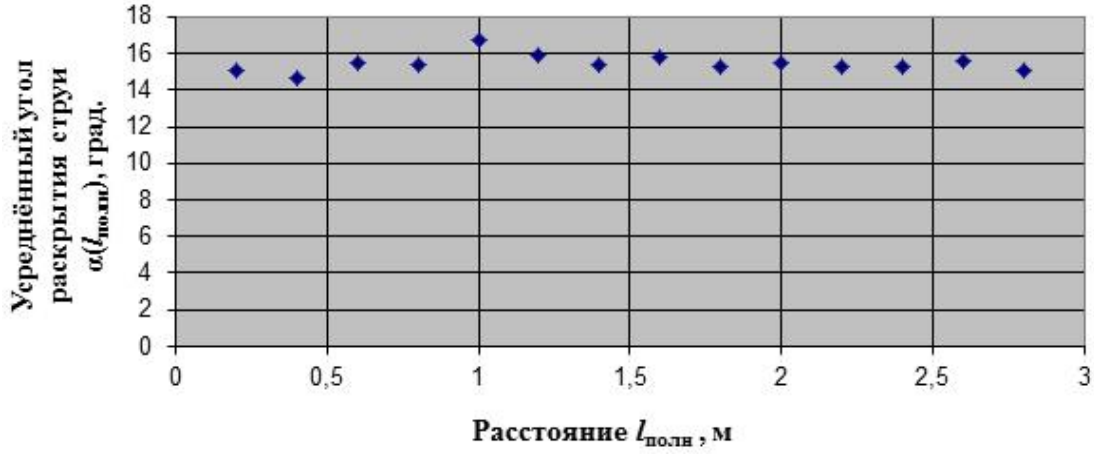


г

Рисунок 3.9 (окончание) — Диаграмма углов раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$ и $\alpha_{изм.j}$:
г — ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью)
(экспериментальное исследование 3, измерения 4)

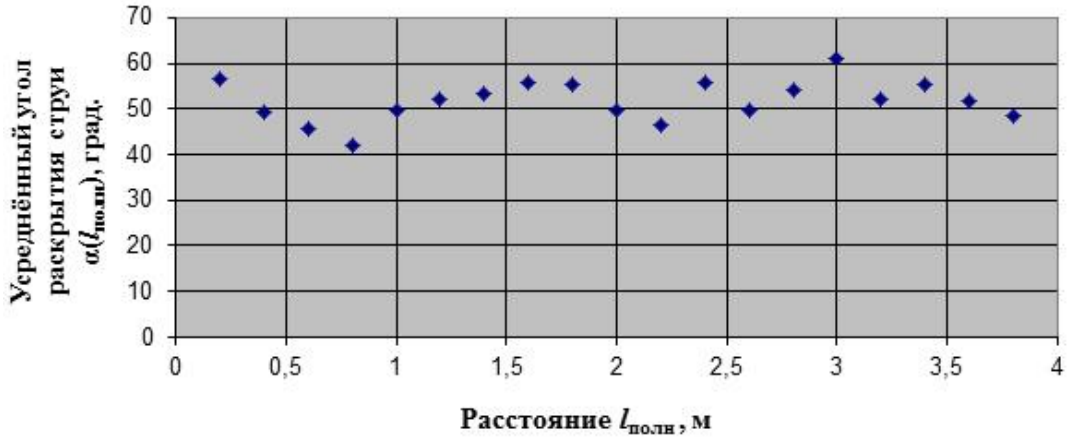
В соответствии с выражением (2.59) производилось вычисление значений усредненных углов раскрытия струи температурно-активированной воды в каждой контрольной точке по всей длине струи l от среза сопла ствола до металлического экрана. Полученные значения $\alpha(l_{полн})$ заносились в протоколы (см. приложение В). Результаты определения усредненных углов раскрытия представлены на рисунке 3.10.

Полученные результаты предварительной обработки данных позволяют определить с заданной точностью аналитические выражения изменения сопротивлений постоянному току струй температурно-активированной воды для исследованных стволов в зависимости от длины струи.

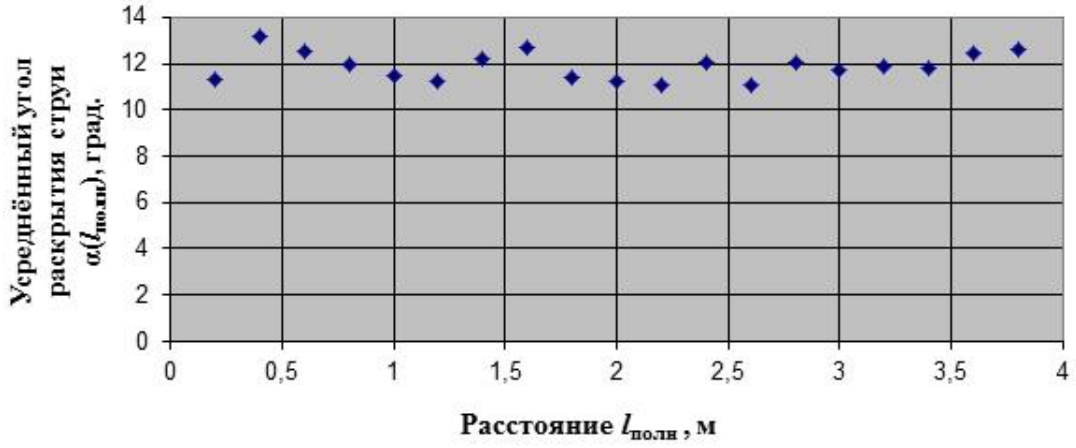


а

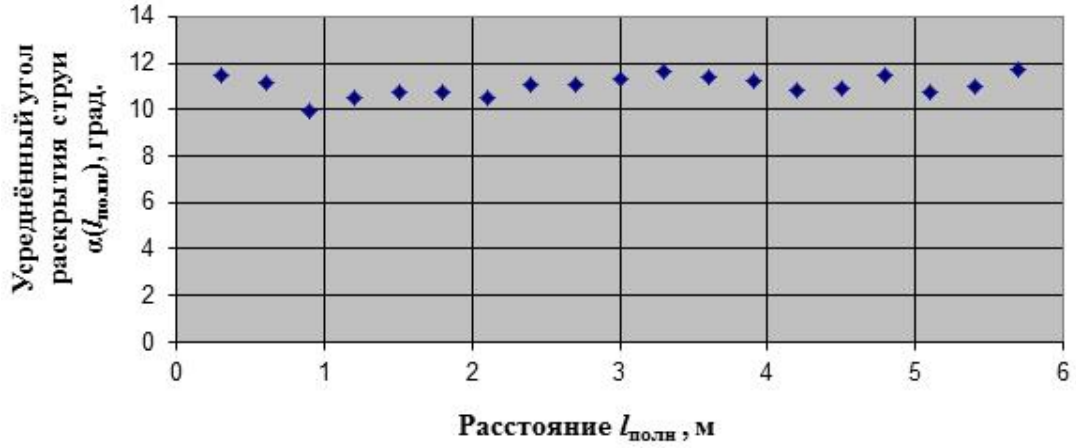
Рисунок 3.10 (начало) — Диаграмма усредненных углов раскрытия струи $\alpha(l_{полн})$:
а — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой)
в положении для подачи компактной струи (экспериментальное исследование 1 (а))



б



в



г

Рисунок 3.10 (окончание) — Диаграмма усредненных углов раскрытия струи α($l_{полн}$): *б* — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи распыленной струи (экспериментальное исследование 1 (б)); *в* — ствол-пика (сопло Лаваля) (экспериментальное исследование 2); *г* — ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью) (экспериментальное исследование 3)

Значения углов раскрытия струй температурно-активированной воды будут использованы для нахождения с заданной точностью истинных значений углов раскрытия α для дальнейших вычислений комплексных параметров струй температурно-активированной воды при тушении электроустановок переменного тока.

3.2 Аппроксимация результатов измерения сопротивлений постоянному току и углов раскрытия струй температурно-активированной воды аналитическими выражениями

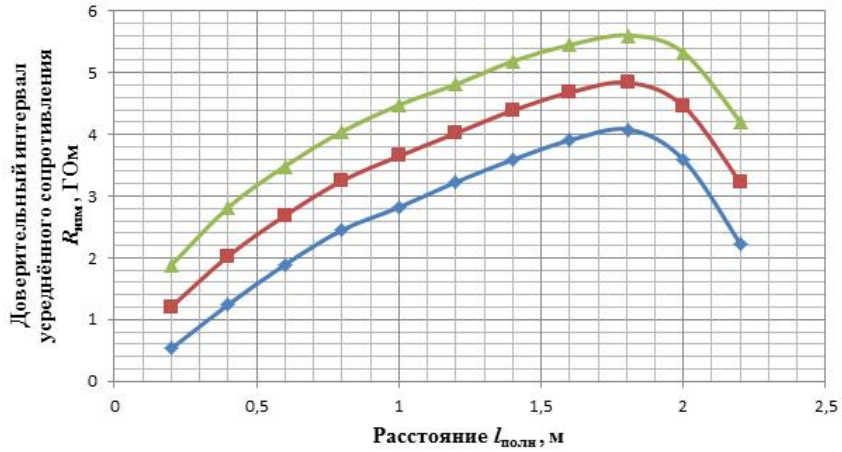
Значения сопротивлений $R_{\text{изм.}i}$ и $R_{\text{изм.}j}$, а также углов раскрытия струи $\alpha_{\text{изм.}i}$ и $\alpha_{\text{изм.}j}$ в каждом измерении являются случайными и статистически независимыми величинами, подчиняющиеся нормальному закону распределения.

Определим доверительные интервалы для сопротивлений $R_{\text{изм.}i}$ и $R_{\text{изм.}j}$ с вероятностью $p = 0{,}95$. Для этого воспользуемся методикой из [204–206]. Найдем распределение Стьюдента t_s для выборки из $i + j = 20$, а также стандартное отклонение S для каждого усредненного значения сопротивления $R_{\text{изм}}$. При нахождении t_s и S воспользуемся возможностями программного продукта Microsoft Excel по обработке случайных величин при проведении статистического анализа.

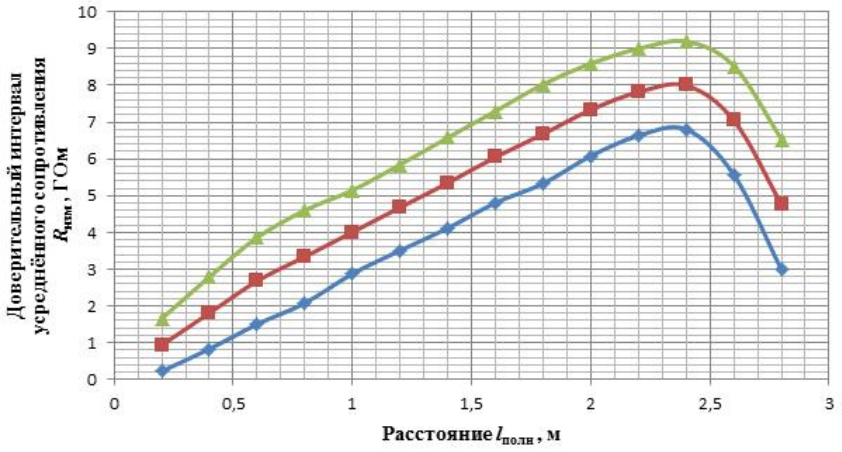
Величина распределения Стьюдента для доверительной вероятности 0,95 и 20 выборок в каждой точке измерения сопротивлений по всей длине струй температурно-активированной воды для всех типов пожарных стволов будет равна $t_s = 1{,}724718243$.

Определим минимальные $R_{\text{изм min}}$ и максимальные $R_{\text{изм max}}$ значения усредненного сопротивления $R_{\text{изм}}$ для каждого из исследованных стволов по всей длине струй температурно-активированной воды без учета недостоверных данных, обусловленных намоканием изоляторов опытно-экспериментального стенда. Полученные результаты представлены на рисунке 3.11.

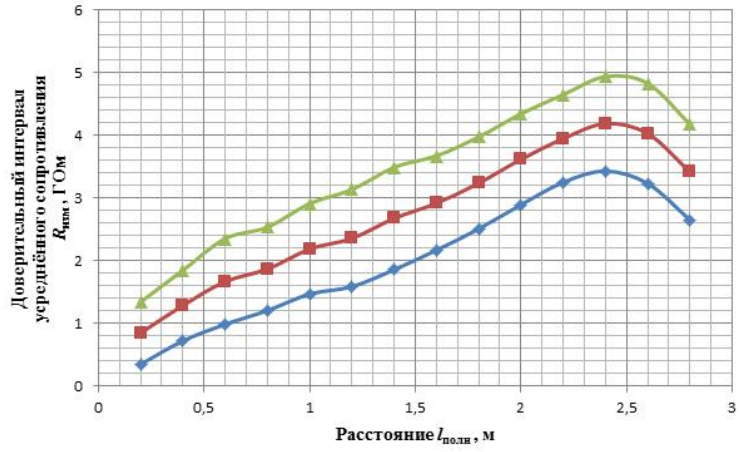
Доверительный интервал вычисленного значения сопротивления $R(l_{\text{полн}})$ всех типов стволов для подачи температурно-активированной воды рассчитаем по формуле (2.58). Полученный результат представлен на рисунке 3.12.



а

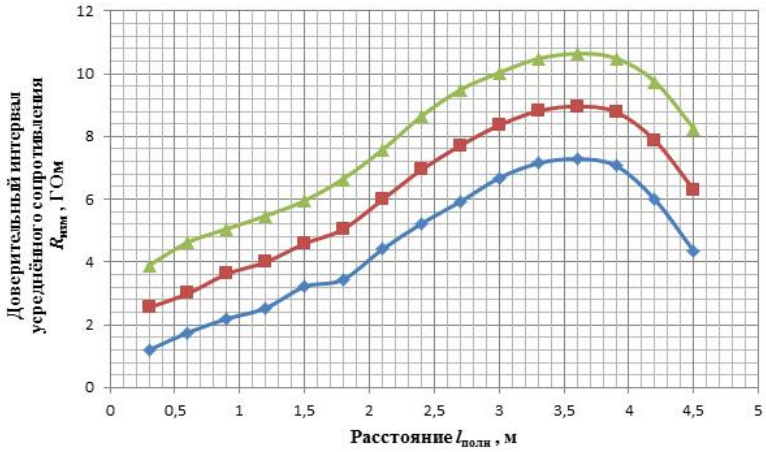


б



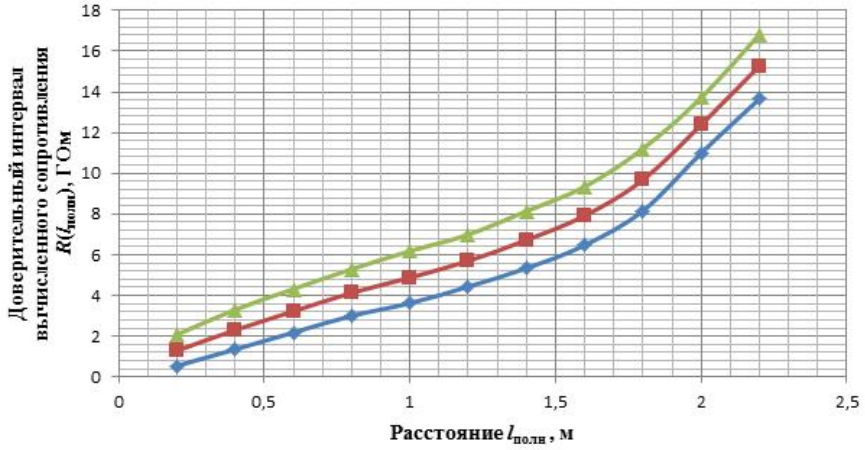
в

Рисунок 3.11 (начало) — График доверительных интервалов усредненного сопротивления $R_{изм}$:
а — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи компактной струи (экспериментальное исследование 1 (а))
б — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи распыленной струи (экспериментальное исследование 1 (б));
в — ствол-пика (сопло Лаваля) (экспериментальное исследование 2)

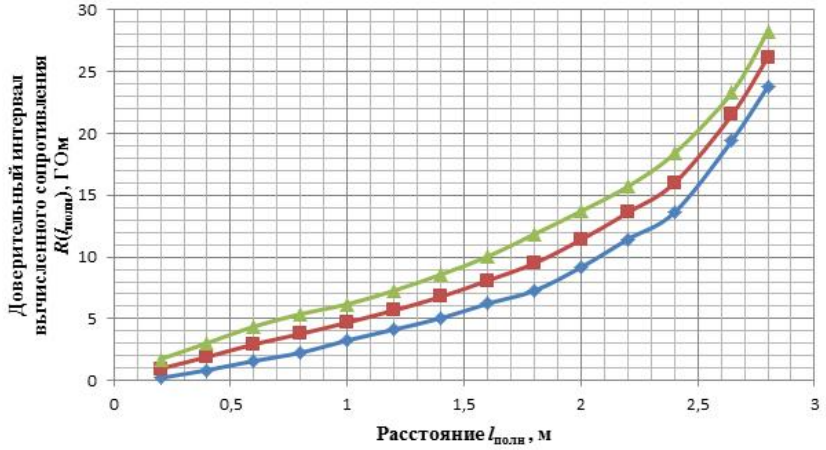


г

Рисунок 3.11 (окончание) — График доверительных интервалов усредненного сопротивления $R_{изм}$:
г — ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью) (экспериментальное исследование 3)

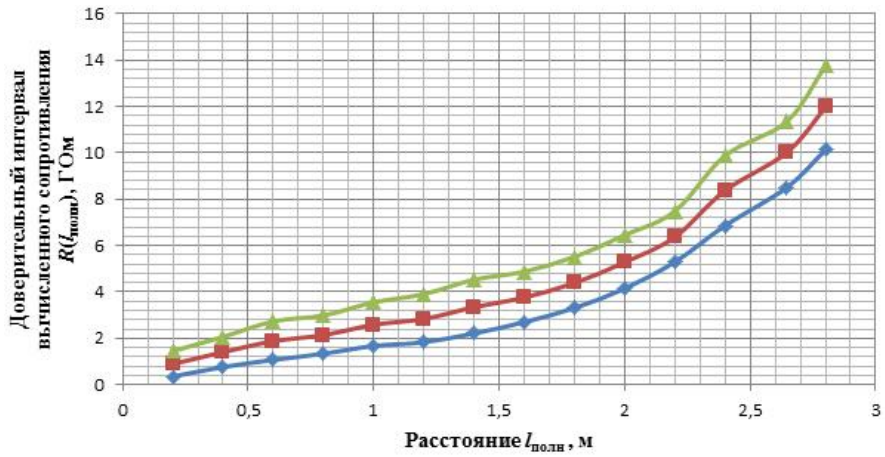


а

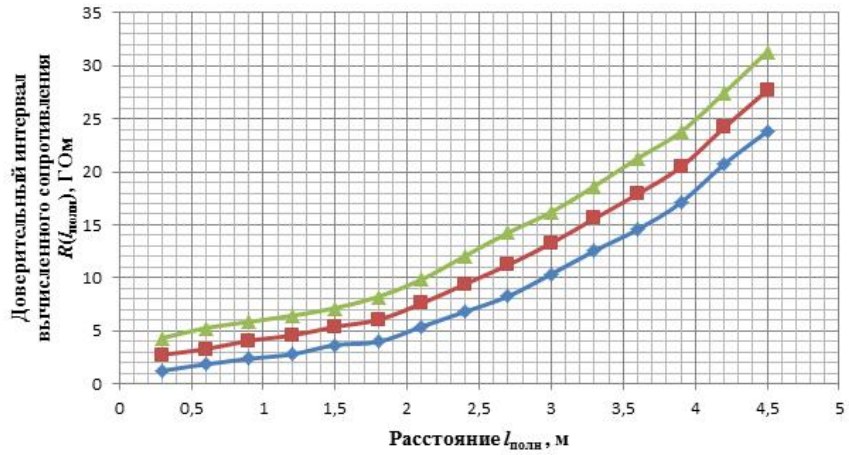


б

Рисунок 3.12 (начало) — График доверительных интервалов вычисленного сопротивления $R(l_{полн})$:
а — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи компактной струи (экспериментальное исследование 1 (а))
б — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи распыленной струи (экспериментальное исследование 1 (б)



в



г

Рисунок 3.12 (окончание) — График доверительных интервалов вычисленного сопротивления $R(l_{полн})$:
в — ствол-пика (сопло Лаваля) (экспериментальное исследование 2); *г* — ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью) (экспериментальное исследование 3)

Определим доверительные интервалы с вероятностью p = 0,95 для углов раскрытия $\alpha(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды при их подаче из различных типов пожарных стволов, в экспериментальных исследованиях 1 (а), 2, 3. Для данных на рисунке 3.10 найдены статистические параметры, представленные в таблице 3.1 и на рисунке 3.13.

Полученные результаты вычисления сопротивлений $R(l_{полн})$ и углов α раскрытия струй температурно-активированной воды для исследованных стволов верны с доверительной вероятностью 95 % в пределах между минимальными и максимальными значениями, что говорит о высокой степени достоверности полученных экспериментальных данных. Значения углов α раскрытия струй температурно-активированной воды для исследованных стволов (см. таблицу 3.1)

можно считать постоянными и равными среднему их значению в доверительном интервале во всех контрольных точках на протяжении всего экспериментального исследования. Зависимость угла α как от времени, так и от расстояния является константой и прямой параллельной оси абсцисс.

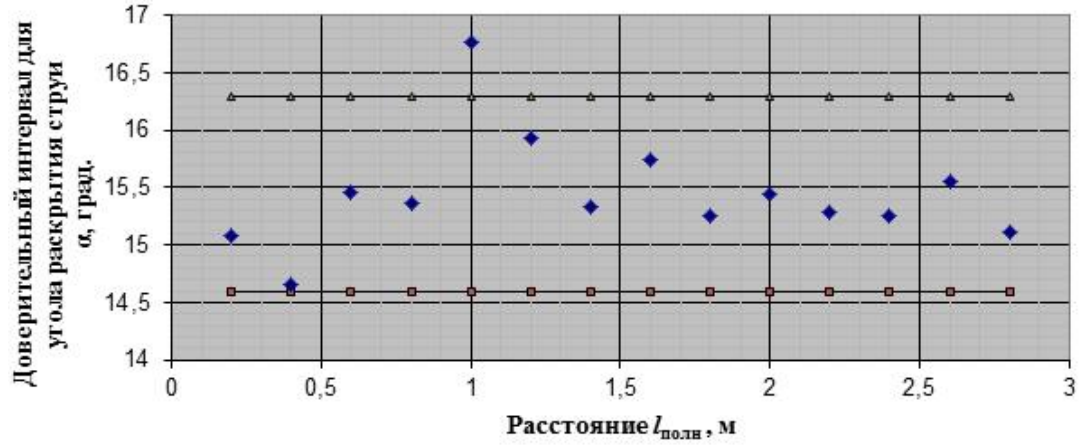
Таблица 3.1 — Значения статистических параметров для углов раскрытия, исследованных стволов для подачи температурно-активированной воды

Тип пожарного ствола, номер экспериментального исследования	**Ствол-трансформер (компактная струя), 1 (а)**	**Ствол-трансформер (распыленная струя), 1 (б)**	**Ствол-пика, 2**	**Ствол дальнобойный (для рабочей линии), 3**
Число выборок (степеней свободы) *N*	14	19	19	19
Значение стандартного отклонения *S*	0,49	4,54	0,62	0,44
Распределение Стьюдента t_s	1,76	1,73	1,73	1,73
Минимальное значение угла раскрытия струи α_{min}, град	14,59	43,96	10,82	10,28
Значение угла раскрытия струи α, град	15,45	51,81	11,89	11,04
Максимальное значение угла раскрытия струи α_{max}, град	16,30	59,65	12,95	11,79

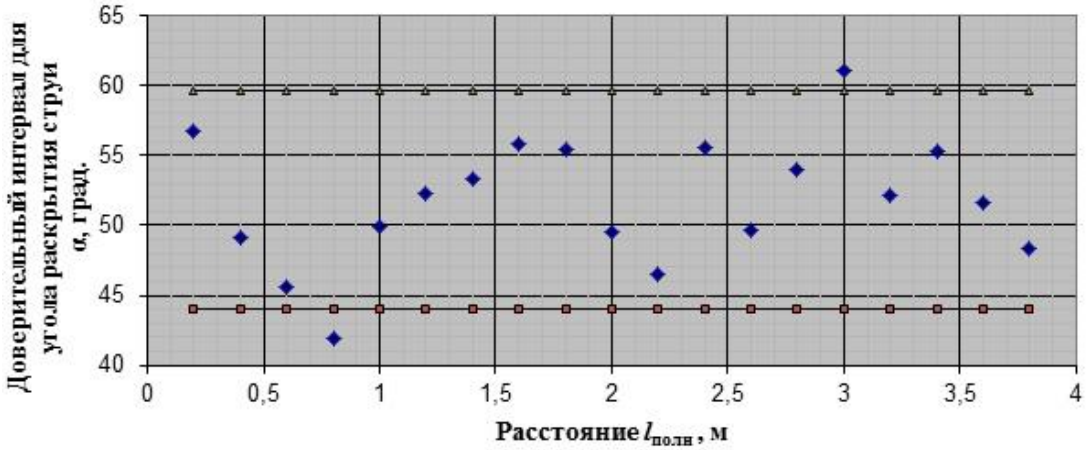
При визуальном анализе изображенных на рисунке 3.12 зависимостей $R(l_{полн})_{min}$; $R(l_{полн})$ и $R(l_{полн})_{max}$ очевиден их нелинейный характер. Для аппроксимации этих кривых аналитическими выражениями воспользуемся экспоненциально-степенной моделью (далее — ЭСМ) [207, 208]. ЭСМ описывается формулой

$$R(l_{полн}) = R_0 \exp(\chi l_{полн}^{\lambda}), \quad (3.1)$$

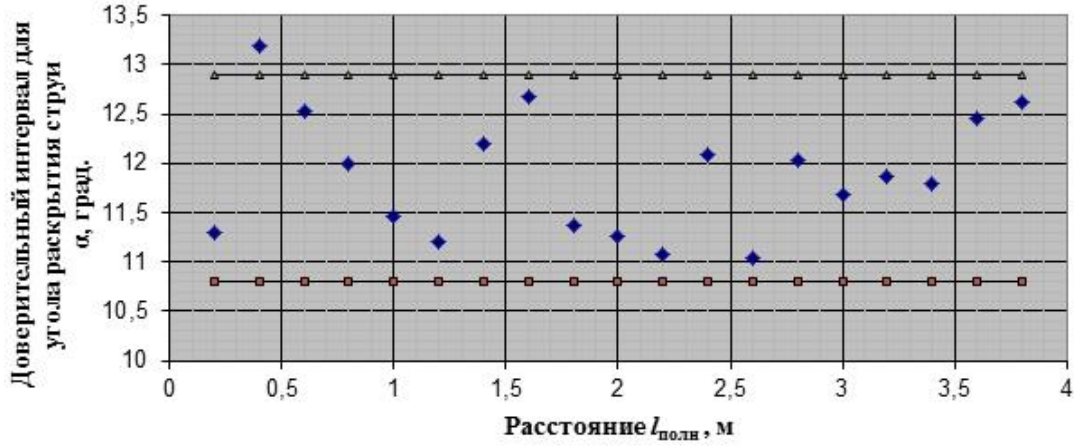
где R_0 — начальное сопротивление, задаваемое исходя из условий, ГОм; χ и λ — константы ЭСМ.



а

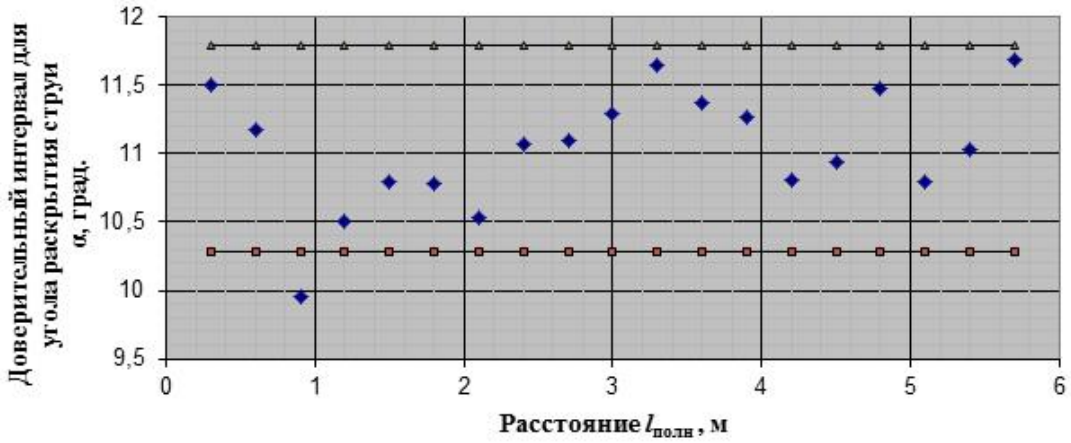


б



в

Рисунок 3.13 (начало) — График доверительных интервалов углов раскрытия α:
а — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи компактной струи (экспериментальное исследование 1 (а);
б — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи распыленной струи (экспериментальное исследование 1 (б);
в — ствол-пика (сопло Лаваля) (экспериментальное исследование 2)



г

Рисунок 3.13 (окончание) — График доверительных интервалов углов раскрытия α:
г — ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью)
(экспериментальное исследование 3)

Вычислительная задача цифровой обработки данных (далее — ЦОД) для ЭСМ сводится к расчету констант χ и λ. Решение данной задачи включает в себя два этапа.

1. Подготовительный этап — линеаризация модели.

2. Расчет коэффициентов модели.

На первом этапе реализуется логарифмирование левой и правой частей уравнения (3.1), при этом основанием логарифма является число Эйлера, тогда получаем:

$$\ln\left(\frac{R(l_{полн})}{R_0}\right) = \chi l_{полн}^{\lambda}. \tag{3.2}$$

При этом получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} f = \chi l_{полн}^{\lambda} \\ f = \ln\left(\dfrac{R(l_{полн})}{R_0}\right) \end{cases}. \tag{3.3}$$

Из системы уравнений (3.3) проанализируем степенную функцию

$$f = \chi l_{полн}^{\lambda}, \tag{3.4},$$

для этого возьмем логарифмы обоих частей выражения (3.4) и получим:

$$\ln f = \ln\chi + \lambda \ln l_{полн}. \tag{3.5}$$

Для удобства анализа введем следующие обозначения членов уравнения (3.5):

$$G_i = \ln f;\ b_0 = \ln \chi;\ V_i = \ln l_{\text{полн}};\ b_1 = \lambda, \tag{3.6}$$

тогда линейная модель первого порядка будет иметь вид:

$$G_i = b_0 + b_1 V_i, \tag{3.7}$$

где G_i — функция; V_i — переменная; b_0 и b_1 — константы модели.

На втором этапе рассчитаем коэффициенты модели.

Свободный член b_0 определим по формуле

$$b_0 = G_{\text{ср}} + b_1 V_{\text{ср}}. \tag{3.8}$$

Коэффициент модели b_1 определим из системы уравнений:

$$\begin{cases} b_1 = D/B \\ D = \sum\limits_{i=1}^{k} \left(V_i - V_{\text{ср}}\right)\left(G_i - G_{\text{ср}}\right), \\ B = \sum\limits_{i=1}^{k} \left(V_i - V_{\text{ср}}\right)^2 \end{cases} \tag{3.9}$$

Среднее значение функции $G_{\text{ср}}$ и переменной $V_{\text{ср}}$ определим как среднее арифметическое по формулам

$$V_{\text{ср}} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} V_i;\ G_{\text{ср}} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} G_i. \tag{3.10}$$

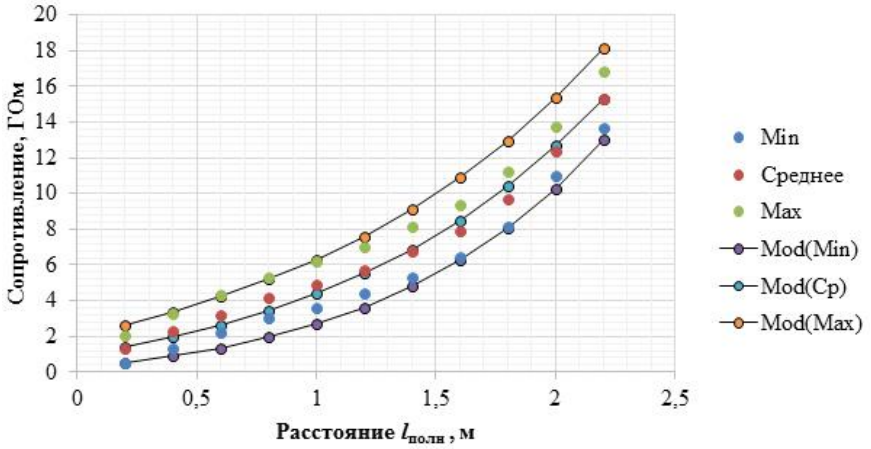
В итоге искомые константы получаем из анализа констант линейной модели:

$$\chi = \exp\left(b_0\right);\ \lambda = b_1. \tag{3.11}$$

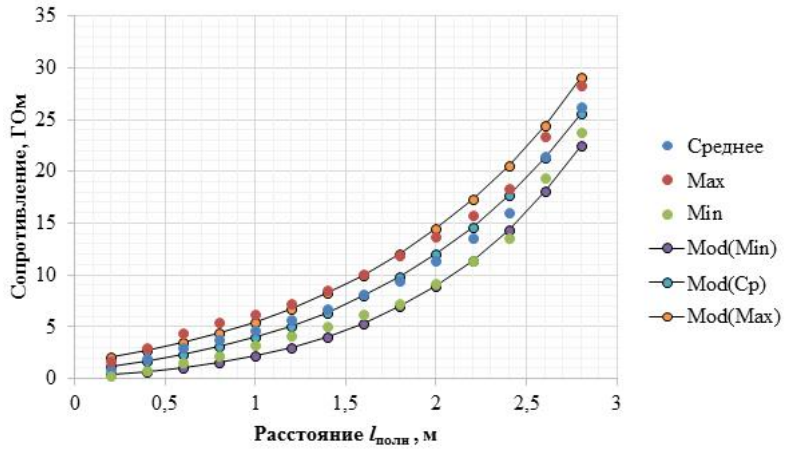
Для ЦОД по формулам (3.1)–(3.11) воспользуемся программным продуктом Microsoft Excel. Опуская промежуточные расчеты, в итоге получим константы аналитических выражений, для аппроксимации и экстраполяции зависимости сопротивлений $R(l_{\text{полн}})_{\min}$; $R(l_{\text{полн}})$ и $R(l_{\text{полн}})_{\max}$ от расстояния $l_{\text{полн}}$ вида (2.61) и (3.1) с заданной точностью. Результаты вычислений представлены в таблице 3.2 и на рисунке 3.14.

Таблица 3.2 — Показатели ЭСМ зависимости сопротивлений $R(l_{полн})_{min}$; $R(l_{полн})$ и $R(l_{полн})_{max}$ от расстояния $l_{полн}$ вида (3.1) с заданной точностью

Показатели		Тип пожарного ствола, номер экспериментального исследования			
		Ствол-трансформер (компактная струя), 1 (а)	**Ствол-трансформер (распыленная струя), 1 (б)**	**Ствол-пика, 2**	**Ствол дальнобойный (для рабочей линии), 3**
$R(l_{полн})_{min}$	R_0	0,2	0,15	0,25	1,0
	χ	2,6	2,7	1,45	0,95
	λ	0,57	0,58	0,9	0,8
	r^2	0,992	0,992	0,997	0,998
$R(l_{полн})$	R_0	0,8	0,7	0,85	2,2
	χ	1,7	1,75	0,85	0,65
	λ	0,7	0,7	1,1	0,9
	r^2	0,993	0,992	0,996	0,999
$R(l_{полн})_{max}$	R_0	1,9	1,5	1,45	4,2
	χ	1,2	1,3	0,65	0,45
	λ	0,82	0,8	1,2	1
	r^2	0,992	0,994	0,993	0,998
Примечание: r^2 — коэффициент корреляции Пирсона.					

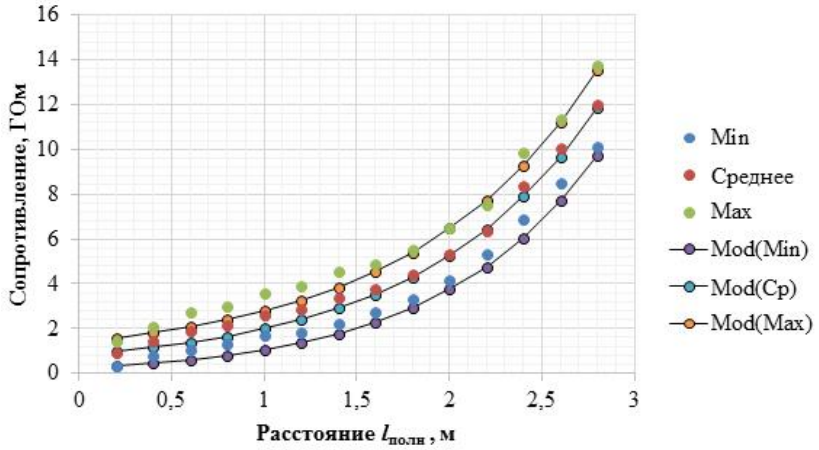


а

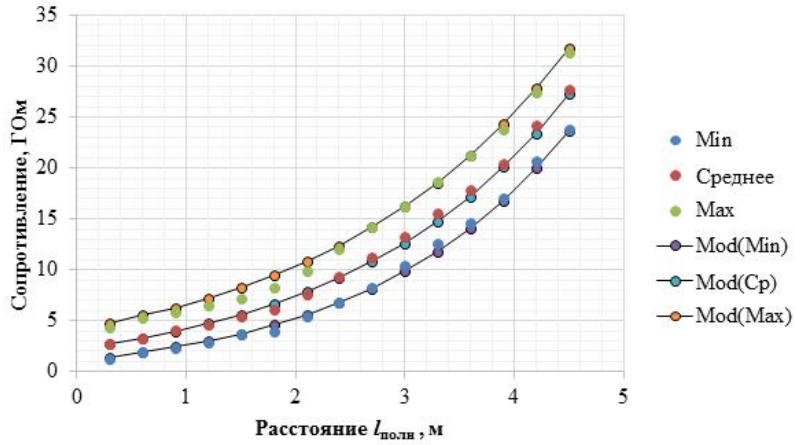


б

Рисунок 3.14 (начало) — Результат ЭСМ-аппроксимации зависимости сопротивлений $R(l_{полн})_{min}$; $R(l_{полн})$ и $R(l_{полн})_{max}$ от расстояния $l_{полн}$ с доверительной вероятностью 95 %: *а* — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи компактной струи (экспериментальное исследование 1 (а); *б* — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи распыленной струи (экспериментальное исследование 1 (б)



в



г

Рисунок 3.14 (окончание) — Результат ЭСМ-аппроксимации зависимости сопротивлений $R(l_{полн})_{min}$; $R(l_{полн})$ и $R(l_{полн})_{max}$ от расстояния $l_{полн}$ с доверительной вероятностью 95 %:
в — ствол-пика (сопло Лаваля) (экспериментальное исследование 2);
г — ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью) (экспериментальное исследование 3)

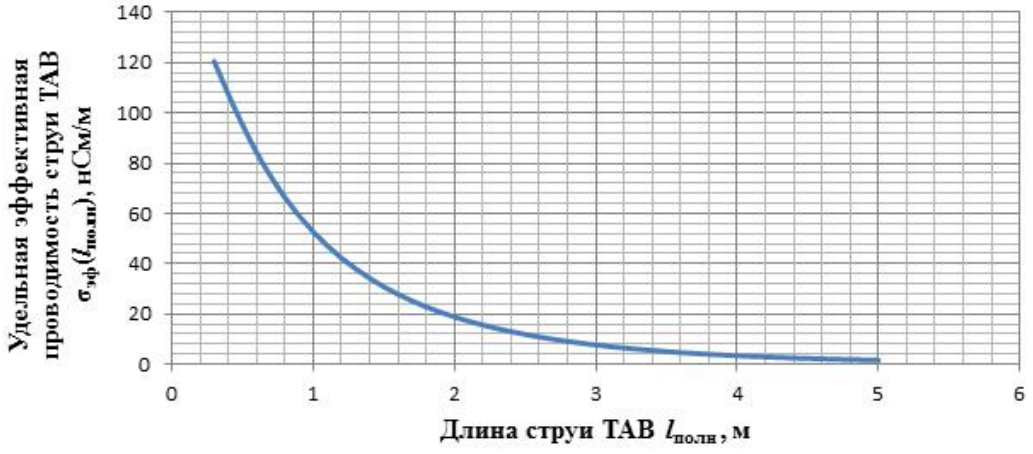
3.3 Математическая обработка результатов измерения и получение комплексных электрических параметров струй температурно-активированной воды

Найдем эффективную удельную электрическую проводимость $\sigma_{эф}(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды, подаваемых из пожарных стволов АПМ (экспериментальные исследования 1 (а), 2, 3). Для этого применим выражение (2.45) и данные из таблицы 3.3.

Таблица 3.3 — Исходные данные для нахождения удельной эффективной проводимости струй температурно-активированной воды

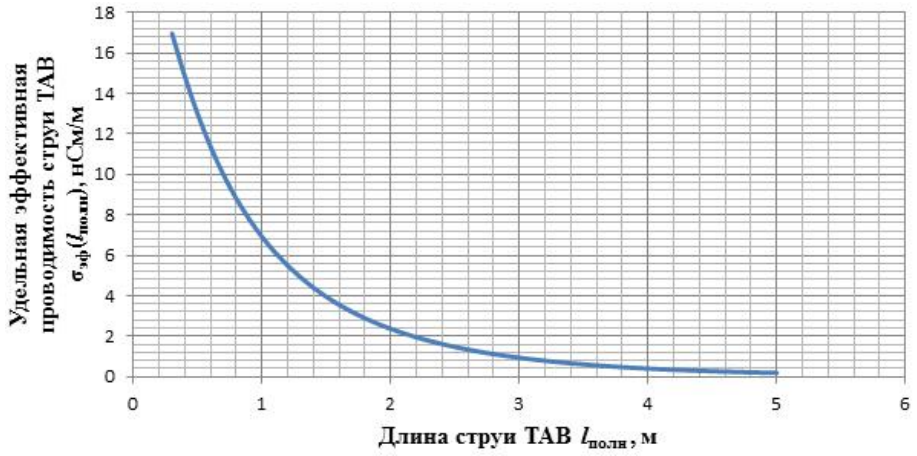
Исходные значения параметров для расчета эффективной удельной проводимости	**Тип пожарного ствола, № экспериментального исследования**			
	Ствол-трансформер (компактная струя), 1 (а)	**Ствол-трансформер (распыленная струя), 1 (б)**	**Ствол-пика, 2**	**Ствол дальнобойный (для рабочей линии), 3**
Сопротивление $R(l_{полн})$, ГОм (из таб. 3.1)	$0{,}8\exp(1{,}7 l_{полн}^{0{,}7})$	$0{,}7\exp(1{,}75 l_{полн}^{0{,}7})$	$0{,}85\exp(1{,}85 l_{полн}^{1{,}1})$	$2{,}2\exp(0{,}65 l_{полн}^{0{,}9})$
Радиус среза сопла ствола y_1, м (из сборочных чертежей)	0,0095	0,0225	0,0075	0,009
Расстояние экстраполяции l, м	5	5	5	5
Угол раскрытия струи α, град (из таб. 3.1)	15,45	51,81	11,89	11,04

Значения эффективной удельной электрической проводимости $\sigma_{эф}(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды для различных типов пожарных стволов АПМ представлены на рисунке 3.15.

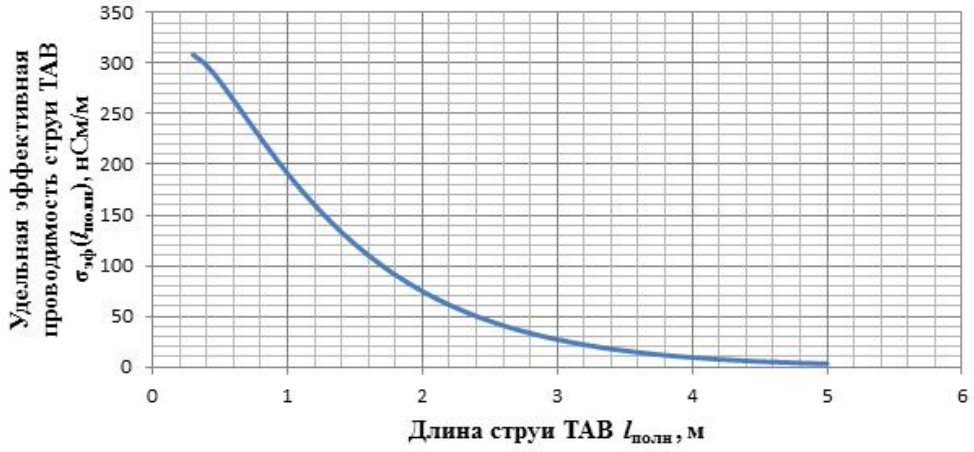


а

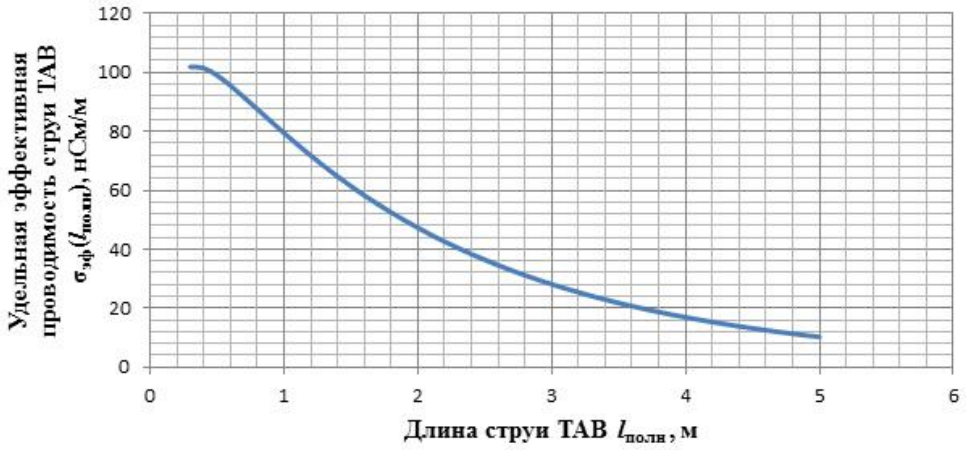
Рисунок 3.15 (начало) — Зависимость эффективной удельной электрической проводимости $\sigma_{эф}(l_{полн})$ от длины струи температурно-активированной воды $l_{полн}$:
а — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи компактной струи;
ТАВ — температурно-активированная вода



б



в



г

Рисунок 3.15 (окончание) — Зависимость эффективной удельной электрической проводимости $\sigma_{эф}(l_{полн})$ от длины струи температурно-активированной воды $l_{полн}$:
б — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи распыленной струи;
в — ствол-пика (сопло Лаваля);
г — ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью);
ТАВ — температурно-активированная вода

Найдем объемную концентрацию $C_v(l_{полн})$ из выражения (2.44) для участка II струи температурно-активированной воды (см. рисунок 2.24). Для этого используем исходные данные:

1) табличные значения из справочной литературы [156, 209, 208] для удельной электрической проводимости пара $\sigma_п = 0{,}5$ нСм/м;

2) данные кондуктометрии (приложение Г) для удельной электрической проводимости воды $\sigma_в = 0{,}0312$ См/м;

3) значения эффективной удельной электрической проводимости $\sigma_{эф}(l_{полн})$ из рисунка 3.15.

Результаты вычислений объемную концентрацию $C_v(l_{полн})$ представлены на рисунке 3.16.

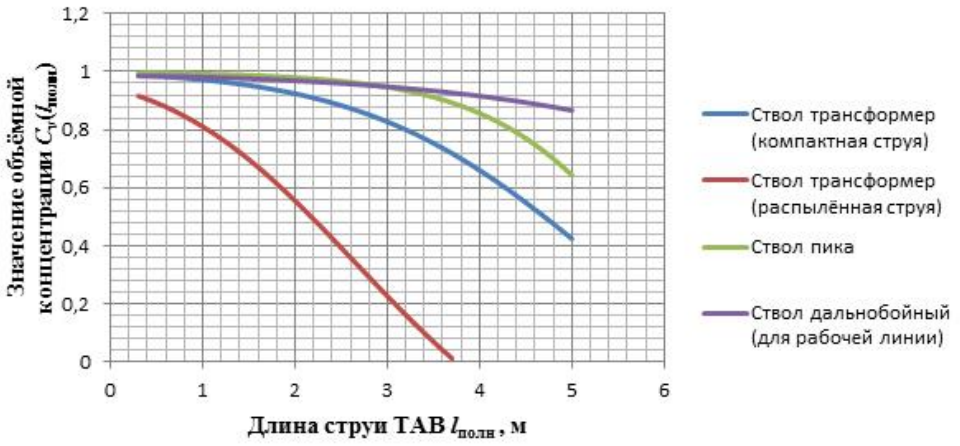


Рисунок 3.16 — График объемной концентрации $C_v(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды для различных типов пожарных стволов АПМ:
ТАВ — температурно-активированная вода

Найдем удельную эффективную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon_{эф}(l_{полн})$ из выражения (2.62) для участка II струи температурно-активированной воды. Для этого используем исходные данные:

1) табличные значения из справочной литературы [156, 209–212] для диэлектрической проницаемости пара $\varepsilon_п = 1{,}00206$ и воды $\varepsilon_в = 66{,}6$;

2) значения объемной концентрации $C_v(l_{полн})$ из рисунка 3.16.

Результаты вычислений удельной эффективной диэлектрической проницаемости струи температурно-активированной воды $\varepsilon_{эф}(l_{полн})$ представлены на рисунке 3.17.

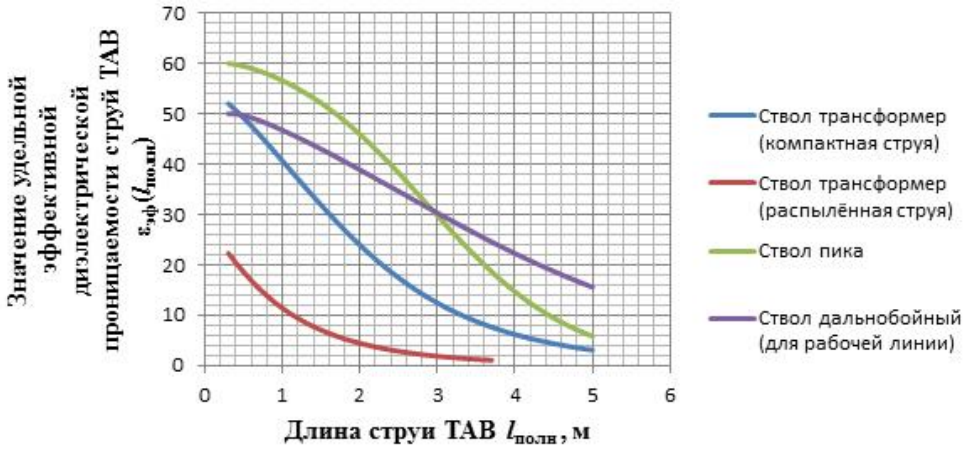


Рисунок 3.17 — График удельной эффективной диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{эф}(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды для различных типов пожарных стволов АПМ:
ТАВ — температурно-активированная вода

Найдем удельную эффективную относительную магнитную проницаемость $\mu_{эф\,j}(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды из выражения (2.63) для участка II струи температурно-активированной воды. Для этого используем исходные данные:

1) табличные значения из справочной литературы [156, 209–212] для магнитной проницаемости пара $\mu_{п} = 0{,}996$ и воды $\mu_{в} = 0{,}999991$;

2) значения объемной концентрации $C_v(l_{полн})$ из рисунка 3.16.

Результаты вычислений удельной эффективной относительной магнитной проницаемости $\mu_{эф\,j}(l_{полн})$ представлены на рисунке 3.18.

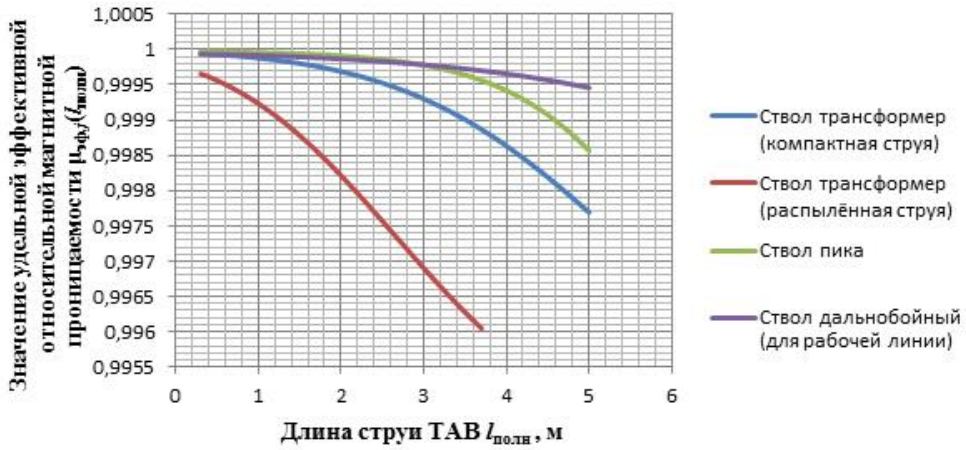


Рисунок 3.18 — График удельной эффективной относительной магнитной проницаемости $\mu_{эф\,j}(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды для различных типов пожарных стволов АПМ:
ТАВ — температурно-активированная вода

Найдем значения электрической емкости $C(l_{полн})$ [2] из выражения (2.18), используя массив значений $\varepsilon_{эф}(l_{полн})$ из рисунка 3.17 и геометрические параметры струй температурно-активированной воды из таблицы 3.3. Результаты вычислений электрической емкости $C(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды представлены на рисунке 3.19.

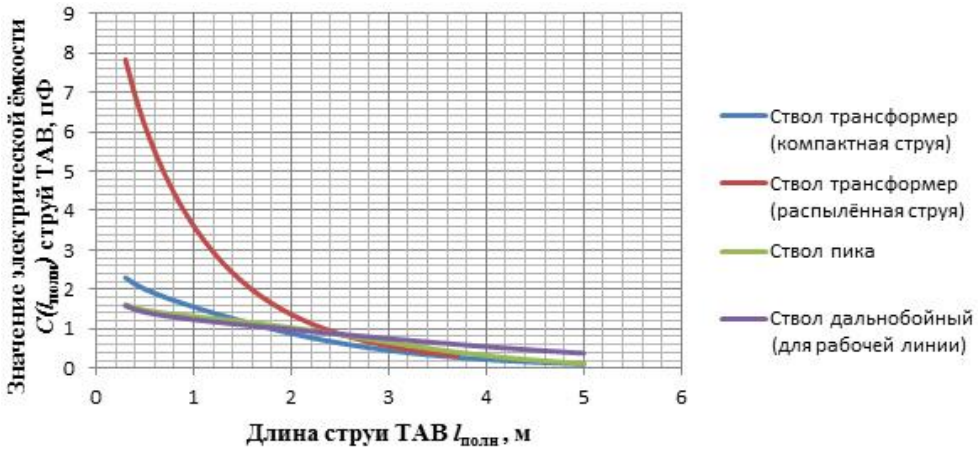


Рисунок 3.19 — График электрической емкости $C(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды для различных типов пожарных стволов АПМ:
ТАВ — температурно-активированная вода

Из визуального анализа значений электрической емкости $C(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды для всех типов пожарных стволов АПМ следует, что ее среднее значение составляет не более 2 пФ, максимальное не превышает 8 пФ. Из этого следует, что влияние электрической емкости $C(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды на силу переменного тока частотой 50 Гц, протекающего по струе температурно-активированной воды, будет невелико. Учтем в расчетах дополнительную электрическую емкость $C_ч(l_{полн})$ между телом пожарного, работающего со стволом, и корпусом электроустановки как дополнительный фактор, повышающий вероятность поражения электрическим током. На месте тушения пожаров электроустановок под напряжением эта емкость может оказывать существенное влияние на ток протекающий через тело человека на землю, так как емкость $C_ч(l_{полн})$, включается

[2] Не следует путать обозначение электрической емкости $C(l_{полн})$, зависящей от длины струи температурно-активированной воды и объемной концентрации капельной фазы $C_v(l_{полн})$, которая так же зависит от длины струи температурно-активированной воды.

параллельно емкости $C(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды и суммируется с ней:

$$C_{общ}(l_{полн}) = C(l_{полн}) + C_{ч}(l_{полн}). \quad (3.12)$$

Найдем емкость $C_{ч}(l_{полн.})$ между телом человека и корпусом электроустановки по формуле:

$$C_{ч}(l_{полн}) = \varepsilon_0 \varepsilon_{возд} \frac{(S_{ч} + S_{ЭУ})}{l_{полн}}, \quad (3.13)$$

где $C_{ч}(l_{полн})$ — емкость между телом человека и корпусом электроустановки, Ф; $\varepsilon_0 \approx 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ — абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м; $\varepsilon_{возд} = 1{,}00057$ — относительная диэлектрическая проницаемость воздуха [209]; $S_{ч} = 2$ — площадь поверхности тела человека [213], м^2; $S_{ЭУ} = 8$ — площадь поверхности электроустановки, м^2; $l_{полн}$ — расстояние между человеком и электроустановкой, м.

Используя значения $C(l_{полн})$ из рисунка 3.19 и выражения (3.12), (3.13) определим $C_{общ}(l_{полн})$ и представим данные на рисунке 3.20.

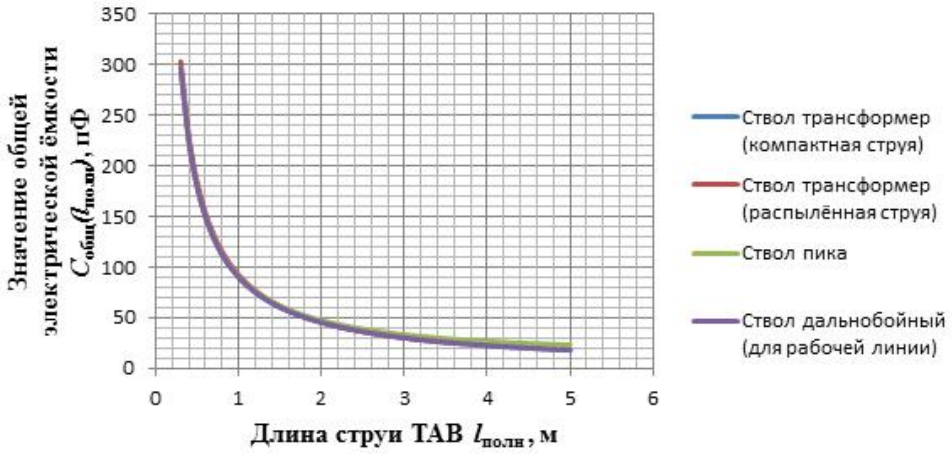


Рисунок 3.20 — График общей электрической емкости $C_{общ}(l_{полн})$ для различных типов пожарных стволов АПМ:
ТАВ — температурно-активированная вода

Найдем значения индуктивности $L(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды из выражения (2.30). Для этого используем исходные данные:

1) массив значений удельной эффективной относительной магнитной проницаемости $\mu_{эф\,j}(l_{полн})$ из рисунка 3.18;

2) геометрические параметры струи температурно-активированной воды из таблицы 3.3;

3) табличное значение из справочной литературы [209] для относительной магнитной проницаемости внешней среды (воздуха) $\mu_{возд}$ = 1,00000038.

Результаты вычислений электрической индуктивности $L(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды представлены на рисунке 3.21.

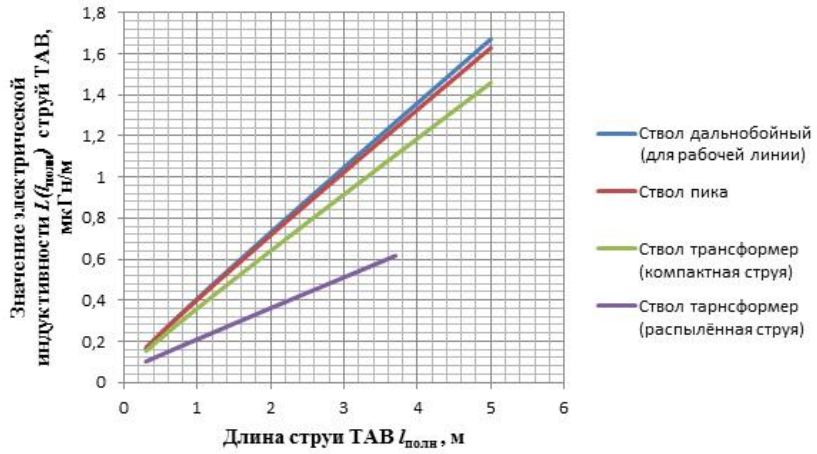


Рисунок 3.21 — График электрической индуктивности $L(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды для различных типов пожарных стволов АПМ: ТАВ — температурно-активированная вода

Используя выражение (2.5) найдем массивы значений модуля комплексного сопротивления струй температурно-активированной воды без учета $|\dot{Z}(l_{полн})|$ и с учетом $|\dot{Z}_{общ}(l_{полн})|$ электрической емкости между человеком и корпусом электроустановки. Для этого используем исходные данные:

1) аналитические выражения для сопротивлений постоянному току $R(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды из таблицы 3.2;

2) массив значений электрической индуктивности $L(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды из рисунка 3.21;

3) массив значений электрической емкости $C(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды без учета емкости $C_{ч}(l_{полн})$ между телом человека и корпусом электроустановки из рисунка 3.19;

4) массив значений электрической емкости $C_{общ}(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды с учетом емкости $C_{ч}(l_{полн})$ между телом человека и корпусом электроустановки из рисунка 3.20;

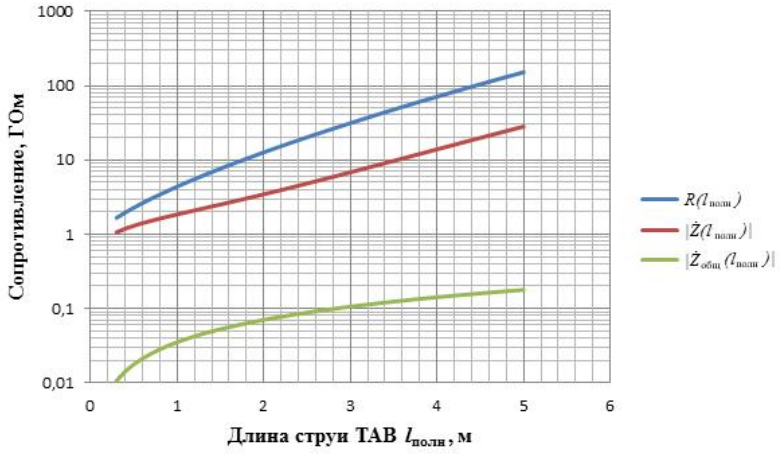
5) значение частоты переменного тока для большинства промышленных электроустановок примем F = 50 Гц.

Результаты вычислений модулей комплексных сопротивлений $|\dot{Z}(l_{полн})|$; $|\dot{Z}_{общ}(l_{полн})|$ и сопротивлений постоянному току $R(l_{полн})$ струи температурно-активированной воды представлены на рисунках 3.22–3.25. Их анализ во всех случаях показывает неравенство:

$$R(l_{полн}) > |\dot{Z}(l_{полн})| >> |\dot{Z}_{общ}(l_{полн})|. \quad (3.14)$$

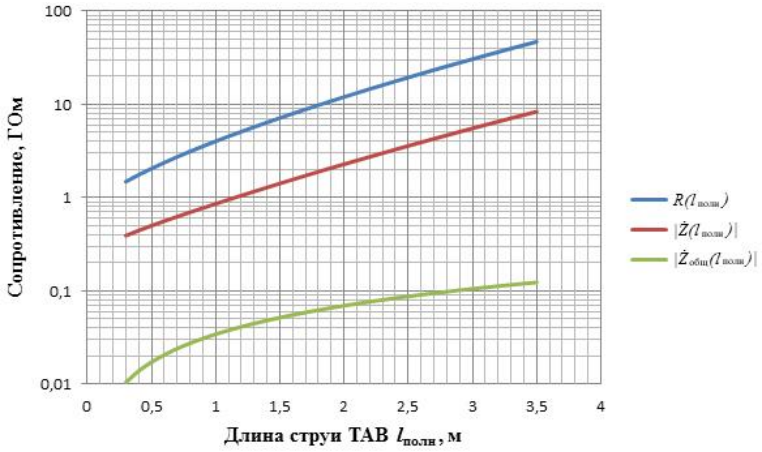
Выражение (3.14) свидетельствует о том, что индуктивность $L(l_{полн})$ и емкость $C(l_{полн})$ существенно увеличивают проводимость струй температурно-активированной воды при протекании по ним переменного тока частотой 50 Гц по сравнению с постоянным током. Этот факт говорит в пользу необходимости учета емкостной и индуктивной составляющей комплексного сопротивления струй огнетушащих веществ.

Учет емкости $C_ч(l_{полн})$ между телом человека и корпусом электроустановки, приводит к скачку проводимости струй температурно-активированной воды, модуль комплексного сопротивления $|\dot{Z}_{общ}(l_{полн})|$ на несколько порядков меньше чем $|\dot{Z}(l_{полн})|$ (рисунок 3.22).

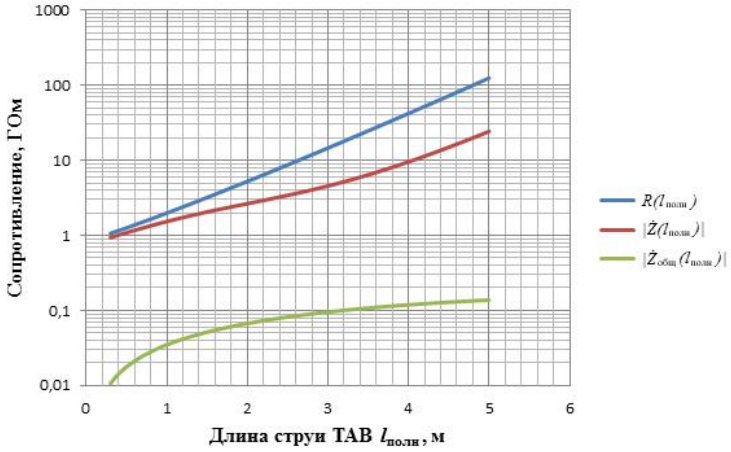


а

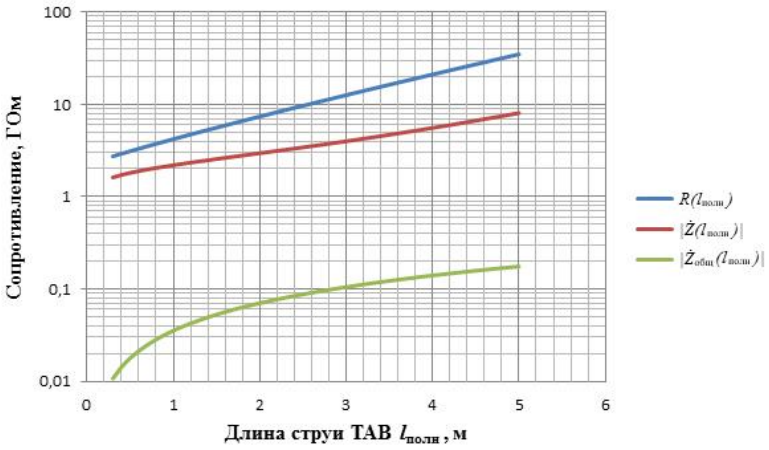
Рисунок 3.22 (начало) — График модулей комплексных сопротивлений $|\dot{Z}(l_{полн})|$, $|\dot{Z}_{общ}(l_{полн})|$ и сопротивлений постоянному току $R(l_{полн})$ струи температурно-активированной воды:
а — ствол-трансформер (компактная струя);
ТАВ — температурно-активированная вода



б



в



г

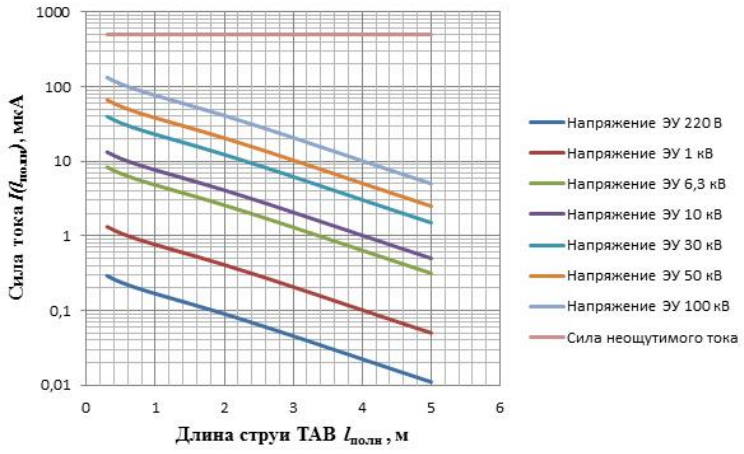
Рисунок 3.22 (окончание) — График модулей комплексных сопротивлений $|\dot{Z}(l_{полн})|$, $|\dot{Z}_{общ}(l_{полн})|$ и сопротивлений постоянному току $R(l_{полн})$ струи температурно-активированной воды:
б — ствол-трансформер (распыленная струя);
в — ствол-пика (сопло Лаваля); *г* — ствол дальнобойный (для рабочей линии);
ТАВ — температурно-активированная вода

Значения модулей комплексных сопротивлений $|\dot{Z}(l_{полн})|$, представленные на рисунке 3.22, таковы, что можно говорить об изоляционных (диэлектрических) свойствах струй температурно-активированной воды.

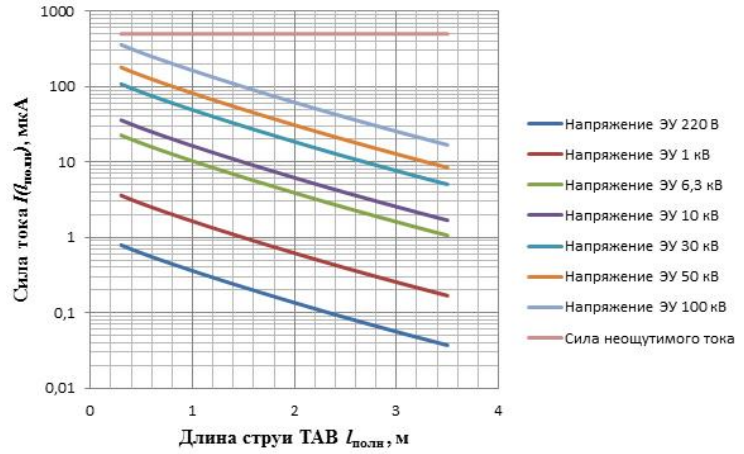
3.4 Определение расстояний безопасного применения пожарных стволов для подачи температурно-активированной воды при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики

Определим безопасные расстояния применения пожарных стволов АПМ для подачи температурно-активированной воды при тушении электроустановок переменного тока частотой 50 Гц различного напряжения. По формуле (2.4) находим массив значений модуля комплексной силы тока $|\dot{I}(l_{полн})|$, протекающей по струе температурно-активированной воды в зависимости от ряда значений модуля комплексного напряжения $|\dot{E}|$ электроустановки без учета электрической емкости между телом человека и корпусом электроустановки. Для этого воспользуемся данными из рисунка 3.22 для $|\dot{Z}(l_{полн})|$. Затем находим массив амплитудного значения силы тока $I(l_{полн}) = \sqrt{2}|\dot{I}(l_{полн})|$ и строим зависимости силы тока от расстояния до электроустановки при различных значениях амплитуды напряжения E. Ограничиваем силу тока на уровне 0,5 мА и определяем безопасные расстояния тушения электроустановок различного напряжения для струй температурно-активированной воды, получаемых из пожарных стволов АПМ разных типов. Результаты вычислений представлены на рисунке 3.23.

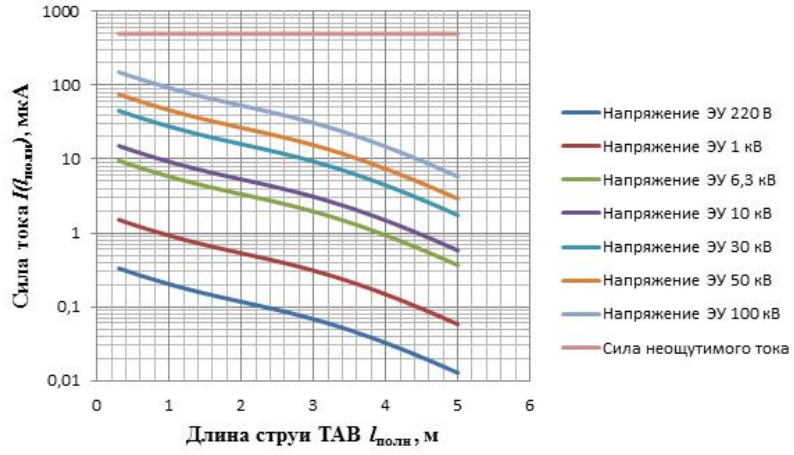
Анализ данных (см. рисунок 3.23) показывает, что для всех исследованных стволов для подачи температурно-активированной воды ток, протекающий через их струи при тушении электроустановок напряжением от 0,22 до 100 кВ, не превышает нижний порог ощутимого для человека тока в 0,5 мА при условии, что не учитывается влияние электрической емкости $C_ч(l_{полн})$ между телом пожарного, работающего со стволом, и корпусом электроустановки.



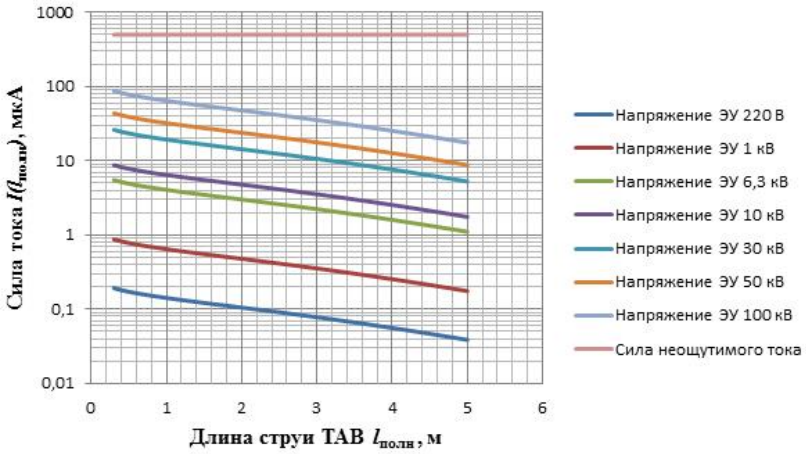
а



б



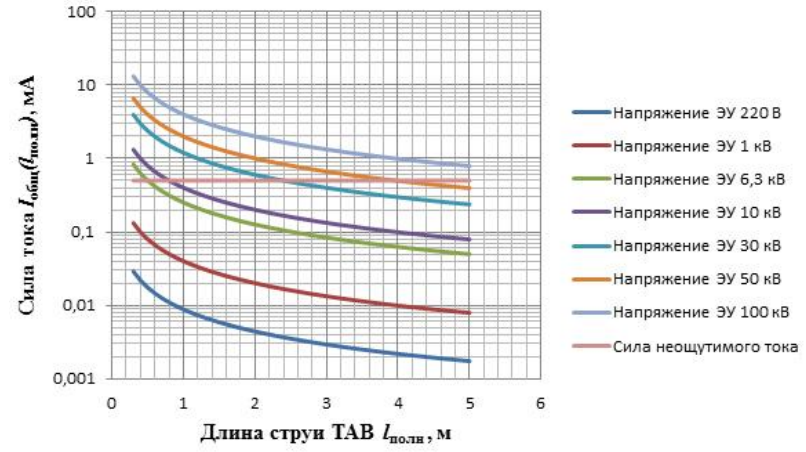
в



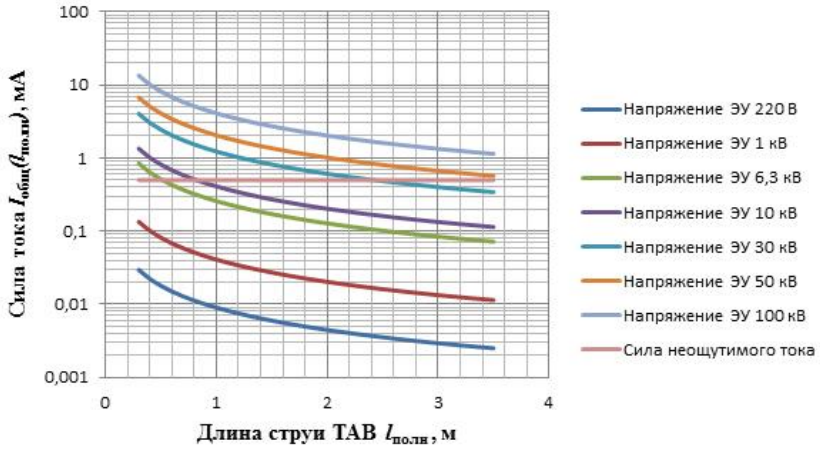
г

Рисунок 3.23 — График амплитудных значений силы тока $I(l_{полн})$, протекающего по струе температурно-активированной воды без учета влияния электрической емкости между телом человека и корпусом электроустановки:
а — ствол-трансформер (компактная струя);
б — ствол-трансформер (распыленная струя);
в — ствол-пика (сопло Лаваля);
г — ствол дальнобойный (для рабочей линии);
ТАВ — температурно-активированная вода

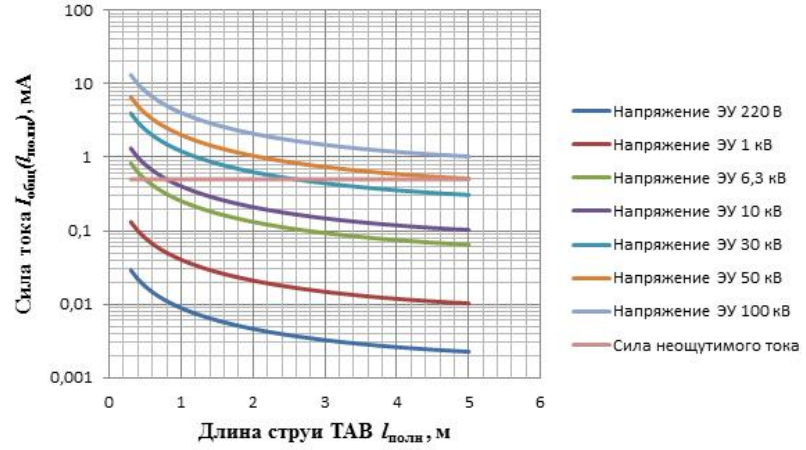
Учтем влияние емкости $C_{ч}(l_{полн})$ на амплитудное значение силы тока $I_{общ}(l_{полн})$ как фактор способствующий повышению вероятности поражения электрическим током на месте тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики. Результаты вычислений представлены на рисунке 3.24.



а

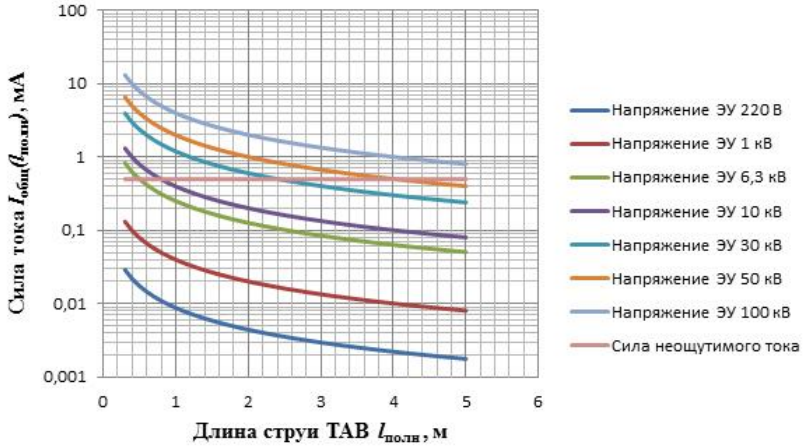


б



в

Рисунок 3.24 (начало) — График амплитудных значений силы тока $I_{общ}(l_{полн})$, протекающего по струе температурно-активированной воды с учетом влияния электрической емкости между телом человека и корпусом электроустановки:
а — ствол-трансформер (компактная струя); *б* — ствол-трансформер (распыленная струя); *в* — ствол-пика (сопло Лаваля); ТАВ — температурно-активированная вода



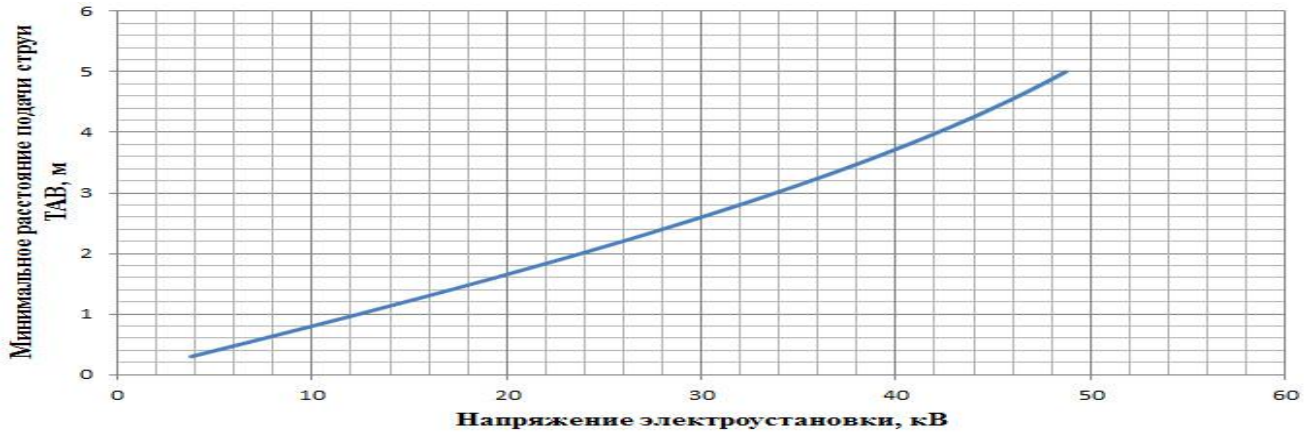
г

Рисунок 3.24 (окончание) — График амплитудных значений силы тока $I_{общ}(l_{полн})$, протекающего по струе температурно-активированной воды с учетом влияния электрической емкости между телом человека и корпусом электроустановки:
г — ствол дальнобойный (для рабочей линии); ТАВ — температурно-активированная вода

а

б

Рисунок 3.25 (начало) — Зависимость минимальных расстояний подачи струй температурно-активированной воды от напряжения электроустановок:
а — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи компактной струи;
б — ствол-трансформер (шайба с острой кромкой) в положении для подачи распыленной струи



в

г

Рисунок 3.25 (окончание) — Зависимость минимальных расстояний подачи струй температурно-активированной воды от напряжения электроустановок:
в — ствол-пика (сопло Лаваля); *г* — ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлиненной выходной частью); ТАВ — температурно-активированная вода

Задаваясь пороговым значением ощутимого тока величиной 0,5 мА, найдем зависимость безопасного расстояния тушения l от действующего напряжения U на электроустановки для исследуемых пожарных стволов АПМ и представим результат на рисунке 3.25.

3.5 Сравнительный анализ безопасности применения температурно-активированной воды и других огнетушащих веществ при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики

В работах А.А. Колбасина [13–16], С.Н. Артюнова [6], С.Н. Копылова [87] с использованием эмпирической методики на токопроводимость и применимость для тушения электроустановок под напряжением изучены огнетушащие вещества на основе воды:

1) компактные струи воды, при подаче их из пожарных стволов РС-50 и РС-70;

2) распыленные струи воды, при подаче их из пожарных стволов КУРС-8 и РСКУ-50А;

3) тонкораспыленные струи воды при подаче из ствола УПТВ 50/120.

Сравним электропроводность струй этих огнетушащих веществ с проводимостью струй температурно-активированной воды.

Для анализа токопроводимости компактных струй воды, подаваемых из ствола РС-70, преобразуем выражение (1.6) к виду:

$$I = \frac{U_{\text{миш}} d}{\rho} \sqrt[n]{\frac{Kd}{l}}. \qquad (3.15)$$

Условимся, что:

1) длина струи воды l = 1 м;

2) диаметр выходного насадка d = 0,018 м (диаметр $d = 2y_1$ среза сопла дальнобойного ствола для подачи температурно-активированной воды (см. таблицу 3.3);

3) напряжение электроустановки $U_{\text{миш}}$= 30 кВ;

4) удельная электрическая проводимость воды $\sigma_{\text{в}}$ = 0,0312 См/м (по данным кондуктометрии (см. приложение Г)), отсюда удельное электрическое сопротивление воды ρ = 32,051 Ом · м;

5) в соответствии с выражением (1.7) эмпирический коэффициент K = 25,685;

6) в соответствии с выражением (1.8) эмпирический коэффициент n = 0,28784.

Для приведенных данных и согласно выражению (3.15) сила тока утечки со ствола РС-70 на землю равна I = 1,155 А. При тех же условиях сила тока, протекающая через струю температурно-активированной воды, подаваемую из дальнобойного ствола, равна I = 19,314 мкА, что в 60 тыс. раз меньше, чем для компактной струи.

Сравним токопроводимость распыленной струи воды, подаваемой из пожарного ствола КУРС-8, и струю температурно-активированной воды, подаваемую из дальнобойного ствола. Для этого примем условия 1–4 использованные для РС-70. Согласно выражению (1.10) сила тока утечки со ствола КУРС-8 на землю составит I = 0,0743 А, что в 3,8 тыс. раз больше, чем ток, протекающий через струю температурно-активированной воды.

Для ствола РСКУ-50А в соответствии с выражением (1.11) сила тока утечки со ствола на землю составит I = 0,00192 А, что в 99 раз больше, чем ток, протекающий по струе температурно-активированной воды.

Сравним токопроводимость струи тонкораспыленной воды, подаваемой из пожарного ствола УПТВ 50/120, со струей температурно-активированной воды. Для этого приведем экспериментальные данные из [13–16] в таблице 3.3.

Сравним данные из таблиц 3.3 и рисунка 3.29 при напряжении электроустановки, равном 50 кВ, и расстоянии до мишени 1 м. При этом получим для тонкораспыленной воды I = 37,7 мкА, а для температурно-активированной воды — I = 32,19 мкА. В целом данные из таблиц 3.3 и рисунка 3.29 сопоставимы по величинам сил токов, однако если для тонкораспыленной воды приводятся силы токов утечки со ствола на землю, то для температурно-активированной воды силы токов, протекающих по струе, при условии, что ствол для подачи температурно-активированной воды заземлен. Ток утечки по струе тонкораспыленной воды со ствола на землю представляет собой только часть тока, протекающего через струю тонкораспыленной воды, так как остальной ток ответвляется через заземленную насосно-рукавную систему.

Таблица 3.3 — Токи утечки по струе тонкораспыленной воды со ствола УПТВ 50/120 на землю [13–16]

Расстояние до мишени, м	Напряжение переменного тока на мишени, кВ	Ток утечки по струе огнетушащего вещества, мкА
3	50	3,7
3	50	2,9
3	50	3,2
3	50	1,7
3	50	2,7
2	50	20,8
2	50	19,1
2	50	18,7
2	50	21,9
2	50	19,7
1	50	36,4
1	50	29,9
1	50	33,6
1	50	37,7
1	50	37,3

На основании приведенных данных можно сделать вывод о том, что ток, протекающий через струю температурно-активированной воды, при прочих равных условиях меньше тока по струе тонкораспыленной воды при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

Выводы по третьей главе

Обработка результатов экспериментального исследования, проведенного в соответствии с Программой (см. приложение А) для пожарных стволов АПМ, показала следующие результаты.

1. Массив значений сопротивлений постоянному току струй температурно-активированной воды аппроксимируется и экстраполируется аналитическими выражениями с доверительной вероятностью 95 %.

2. Сопротивление постоянному току больше модуля комплексного сопротивления струй температурно-активированной воды для переменного тока. Таким образом, тушение температурно-активированной водой электроустановок постоянного тока безопаснее тушения электроустановок переменного тока на объектах энергетики.

3. Полученная в расчетах величина тока, протекающего по струям температурно-активированной воды, не превышает микроамперные уровни, а значение модуля комплексного сопротивления таково, что можно говорить о высоких диэлектрических (изоляционных) свойствах струй температурно-активированной воды для всех типов испытанных пожарных стволов АПМ.

4. Существенно увеличивает электропроводимость струй температурно-активированной воды электрическая емкость между телом пожарного, работающего со стволом, и корпусом электроустановки переменного тока.

5. При практическом тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики необходимо учитывать влияния на ток, протекающий по струе температурно-активированной воды электрической емкости между телом человека (пожарного, работающего со стволом) и корпусом электроустановки.

6. При тушении пожаров температурно-активированной водой электроустановок переменного тока, функционирующих под напряжением на объектах энергетики, необходимо соблюдать следующие рекомендации:

– участники тушения должны применить проверенные в установленном порядке диэлектрические электрозащитные средства (резиновые перчатки и боты);

– пожарные стволы и корпус АПМ должны быть заземлены на стационарные контуры заземления энергетического объекта;

– при сходе с выдвижных лестниц отсеков: УПТАВ, личного состава, кабины водителя АПМ — необходимо расстелить диэлектрические резиновые ковры;

– тушение электроустановок под напряжением необходимо начинать только после установления стабильного режима работу УПТАВ по команде ее оператора;

– при боевом развертывании и тушении должны соблюдаться минимально допустимые расстояния $l_{\text{тушения}}=f(U_{\text{ЭУ}})$ (см. рисунок 3.34);

– до начала тушения пожарный, работающий со стволом, должен удалиться от электроустановки на максимально возможное расстояние, которое должно превышать минимально допустимое расстояние тушения;

– при начале тушения пожарный, работающий со стволом, должен коснуться краем струи температурно-активированной воды токоведущей части электроустановки, при этом, если не чувствуется хотя бы слабое действие электрического тока в виде легкого зуда и покалывания, тушение можно продолжить полной струей;

– при тушении электроустановок на открытой местности подавать струи температурно-активированной воды необходимо с наветренной стороны;

– тушение на объектах энергетики необходимо осуществлять только при достаточной видимости до электроустановок и электрооборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Открытые электрические эффекты генерации струями температурно-активированной воды нестабильного постоянного тока, влияющего на достоверность экспериментальных данных, не позволили применить для исследования эмпирические методики определения токопроводимости струй огнетушащих веществ.

2. Проведенный анализ физических процессов, основанный на теориях электротехники, электрических цепей, перколяции и многофазных потоков, позволил впервые разработать новый научно обоснованный экспериментально-аналитический метод и опытно-экспериментальный стенд для определения тока утечки и минимальных безопасных расстояний тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики, струями температурно-активированной воды.

3. Полученные на опытно-экспериментальном стенде и обработанные экспериментально-аналитическим методом данные свидетельствуют, что струи температурно-активированной воды фактически являются диэлектриками (изоляторами), и ток не проводят, а значит их применение безопасно при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики.

4. Сравнительный анализ токопроводимости струй различных огнетушащих веществ показал, что сила тока, протекающего через струи температурно-активированной воды, для всех исследованных стволов ниже на порядок — для тонкораспыленной воды, на 2–3 порядка — для распыленной воды и на 4–5 порядков — для компактных струй воды.

5. При практическом тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики необходимо учитывать влияния на ток, протекающий по струе температурно-активированной воды, электрической емкости между телом пожарного, работающего со стволом, и корпусом электроустановки. Эта особенность отражена в рекомендованных для практического использования зависимостях $l_{\text{тушения}}=f(U_{\text{ЭУ}})$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тактика тушения электроустановок, находящихся под напряжением [Текст]: Рекомендации. — М.: ВНИИПО, 1986. — 17 с.

2. Баранов, Е.В. Определение напряжения электрического пробоя среды «аэрозоль + воздух» [Текст] / С.Н. Копылов, В.А. Кущук, Е.В Баранов // Пожарная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 55–60.

3. Баранов, Е.В. Определение безопасных расстояний при тушении электроустановок, находящихся под напряжением [Текст] / С.Н. Копылов, В.А. Кущук, Е.В. Баранов // Пожарная безопасность. — 2008. — №3. — С. 52–62.

4. Баранов, Е.В. Особенности применения средств пожаротушения при тушении электрооборудования под напряжением [Текст] / С.Н. Копылов, В.А. Кущук, Е.В. Баранов // Тезисы докладов XXI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». — Ч. 2. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — С. 19–22.

5. Баранов, Е.В. Напряжение пробоя по газоаэрозольным средам в пожаротушении [Текст] / Е.В. Баранов // Пожарная безопасность. — 2011. — № 2. — С. 47–52.

6. Артюнов, С.Н. Организация тушения пожаров электроустановок под напряжением [Текст] / С.Н. Артюнов, А.Е. Сычев, С.А. Муратов // Теоретические и экспериментальные основы пожаротушения: сб. науч. тр. — М.: ВНИИПО, 1992. — С. 56–63.

7. Навценя, Н.В. Исследования электропроводности огнетушащих струй и рекомендации по электробезопасности людей при тушении электроустановок [Текст] / Н.В. Навценя, Н.В. Исавин, И.Ф. Поединцев, О.М. Курбатский // Пожарная профилактика в электроустановках: сб. тр. — М.: ВНИИПО, 1979. — С. 52–62.

8. Кашелкин, Б.И. Тушение пожаров в электроустановках [Текст] / Б.И. Кашелкин, Е.А. Мешалкин. — М.: ВНИИПО, 1987. — 97 с.

9. Алешков, М.В. Особенности развития и тушения пожаров на объектах энергетики [Электронный ресурс] / М.В. Алешков, Д.С. Пушкин, А.А. Колбасин // Технологии техносферной безопасности. — 2010. — № 3. — Режим доступа: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-3/09- 03-10.ttb.pdf (дата обращения 15.05.2019).

10. Алешков, М.В. Исследование тока утечки по струе из ручных пожарных стволов при подаче огнетушащего вещества на электрооборудование под напряжением [Текст] / М.В. Алешков, А.А. Колбасин // Энергосбережение и водоподготовка. — 2012. — № 5. — С. 69–71.

11. Алешков, М.В. Тушение пожаров электрооборудования под напряжением [Текст] / М.В. Алешков, А.А. Колбасин // Материалы 20-й Международной научн.-тех. конф. «Системы безопасности — 2011». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. — С. 140–141.

12. Алешков, М.В. Тушение пожаров электрооборудования под напряжением [Текст] / М.В. Алешков, А.А. Колбасин // Материалы VI Международной научн.-практ. конф. «Пожарная и аварийная безопасность». — Иваново: Иван. Ин-т ГПС МЧС России, 2011. — С. 15–16.

13. Колбасин, А.А. Экспериментальное исследование величины тока утечки по струе огнетушащего вещества из ручных пожарных стволов [Текст] / А.А. Колбасин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2012. — № 2. — С. 10–16.

14. Испытательный стенд пожарной техники [Текст]: пат. 119921 Рос. Федерация / Колбасин А.А.; заявители и патентообладатели Алешков М.В., Емельянов Р.А., Колбасин А.А. и др. — № 2012113951; заявл. 11.04.2012; опубл. 27.04.2012. — 3 с.

15. Колбасин, А.А. Особенности развития и тушения пожаров, возникающих по причине нарушения правил устройства и эксплуатации электроустановок [Текст] / М.В. Алешков, А.А. Колбасин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2010. — № 3. — С. 54–57.

16. Колбасин, А.А. Стенд для определения тока утечки по струе огнетушащего вещества из ручных пожарных стволов [Текст] / А.А. Колбасин // Материалы международной научн.-практ. конф. молодых ученных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности — 2012». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. — С. 109–111.

17. Федяев, В.Д. Применение сплошных водных струй при тушении электроустановок под напряжением на объектах атомной энергетики [Текст] / М.В. Алешков, В. Д. Федяев, Р.А. Емельянов, А.А. Колбасин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация: научный журнал. — 2014. — № 4. — С. 17–23

18. Федяев, В.Д. Обзор применения технологии подачи компрессионной пены при тушении пожаров электрооборудования под напряжением [Электронный ресурс] / М.В. Алешков, В.Д. Федяев, Р.А. Емельянов, А.А. Колбасин // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. — 2015. — № 4(62). — 6 с. — Режим доступа: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-4/41-04-15.ttb.pdf (дата обращения 28.12.2018).

19. Федяев, В.Д. Условия видимости для пожарных в задымленной зоне при тушении пожаров на объектах энергетики [Электронный ресурс] / А.И. Соковнин, А.Д. Ищенко, В.Д. Федяев // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. — 2016. — № 3(67). — 5 с. — Режим доступа: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-3/26-03-16.ttb.pdf (дата обращения 28.12.2018).

20. Федяев, В.Д. Условия применения современных технологий пожаротушения для ликвидации пожаров электрооборудования под напряжением [Текст] / М.В. Алешков, В.Д. Федяев, Р.А. Емельянов, А.А. Колбасин // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — № 6. — С.12–18.

21. Федяев, В.Д. Гидродинамика компрессионной пены при тушении пожаров на объектах энергетики [Текст] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2017. — № 3. — С. 44–48.

22. Федяев, В.Д. Влияние параметров ручных пожарных стволов на тушение электрооборудования под напряжением [Текст] / М.В. Алешков,

В.Д. Федяев, Р.А. Емельянов, А.А. Колбасин // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» Часть 2. — 2015. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. — С. 175–181.

23. Федяев, В.Д. Применение пожарных стволов при тушении пожаров электрооборудования под напряжением [Текст] / Федяев В. Д. // Материалы XXVII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» — М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. — С. 62–72.

24. Федяев, В.Д. Исследование параметров применения компрессионной пены для тушения электрооборудования под напряжением [Текст] / М.В. Алешков, В.Д. Федяев, Р.А. Емельянов, А.А. Колбасин // Материалы 5-й Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» Часть 2. — 2016. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. — С. 351–354.

25. Федяев, В. Д. Исследования возможности применения компрессионной пены для тушения электрооборудования под напряжением на объектах атомной энергетики [Текст] / М.В. Алешков, В.Д. Федяев // Материалы 10-й Международной научно-технической конференции «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики». — М.: Росэнергоатом, 2016. — С. 132–133.

26. Федяев, В.Д. Обеспечение подачи огнетушащих веществ при тушении пожаров на объектах энергетики [Текст] // Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности — 2017». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. — С. 114—118.

27. Федяев, В.Д. Применение компрессионной пены при тушении электрооборудования под напряжением [Текст] // Материалы XI Международной науч.-практ. конф. молодых ученых курсантов, слушателей магистратуры и

адъюнктов. — Минск: Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь, 2017. — С. 147.

28. Гусев, И.А. Применение робототехнических комплексов для тушения пожаров на объектах энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков, А.В. Рожков, О.В. Двоенко, И.А. Ольховский // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация — 2016. — № 1. — С. 48–53. DOI: 10.25257/FE.2016.1.48-53

29. Гусев, И.А. Применение установок пожаротушения с системами гидроабразивной резки на объектах атомной энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков, М.Д. Безбородько // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация — 2016. — № 4. — С. 7–12. DOI: 10.25257/FE.2016.4.7-12

30. 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. DOI: 10.25257/FE.2017.3.21-27

31. 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. DOI:10.18322/PVB.2017.26.10.69-76.

32. Гусев, И.А. Определение тактических возможностей установок пожаротушения с гидроабразивной резкой при подаче огнетушащих веществ на объектах энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков, А.Л. Холостов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация — 2018. — № 2. — С. 29–35. DOI: 10.25257/FE.2018.2.29-35

33. Гусев, И.А. Проведение гидравлических испытаний пожарных рукавов диаметром 150 мм [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков, О.В. Двоенко, И.А. Ольховский // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — В 2-х ч. — Ч. 1. — Воронеж: Воронежский институт ГПС МЧС России, 2015. — С. 203–207.

34. Гусев, И.А. Применение мобильных робототехнических средств при тушении пожаров [Текст] / И.А. Гусев // Материалы X международной научно-практической конференции молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов). — В 2-х ч. — Ч. 1. — Минск: КИИ, 2016. — С. 123–124.

35. Гусев, И.А. Применение мобильных комплексов с технологией гидроабразивной резки для тушения пожаров на объектах со сложной планировкой и с конструкциями из высокопрочных материалов [Текст] / И.А. Гусев // Материалы V международной науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности — 2016». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. — С. 7–12.

36. Гусев, И.А. Системы гидроабразивной резки при тушении пожаров на объектах энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков // Сб. тезисов докладов 5-й международной науч.-практ. конф. «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации — 2016». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. — С. 291–293.

37. Гусев, И.А. Актуальность применения робототехнических средств при тушении пожаров на объектах энергетического комплекса [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков // Сборник тезисов докладов 5-й международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации — 2016». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. — С. 294–296.

38. Гусев, И.А. Применение робототехнических комплексов для обеспечения технологии пожаротушения на объектах атомной энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков // Сб. тезисов докладов 10-й международной научно-практической конференции «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики — 2016». — Зеленоград: ЭНИЦ, 2016. — С. 152–153.

39. Гусев, И.А. Обоснование требований к мобильной робототехнике пожаротушения, применяемой на объектах атомной энергетики [Текст] / И.А. Гусев // Материалы VI международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности — 2017». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. — С. 27–33.

40. Гусев, И.А. Обоснование технических решений мобильной робототехники для тушения пожаров на объектах энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков // Материалы 26-й международной научно-практической конференции «Системы безопасности — 2017». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. — С. 172–175.

41. Гусев, И.А. Обеспечение технологии пожаротушения в замкнутых объемах помещений объектов энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков // Материалы 26-й международной научно-практической конференции: Системы безопасности — 2017. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. — С. 176–179.

42. Гусев, И.А. Применение мобильной робототехники при тушении пожаров на объектах энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков // Сб. тезисов докладов 6-й международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации — 2018». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. — С. 313–315.

43. Гусев, И.А. Роботизированная дистанционно-управляемая установка пожаротушения для проведения работ на объектах энергетики [Текст] / И.А. Гусев, М.В. Алешков [и др.] // Материалы VII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности — 2018». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. — С. 10–18.

44. Гусев, И.А. Применение пожарных автомобилей с системами гидроабразивной резки при тушении пожаров [Текст] / И.А. Гусев, О.В. Двоенко, С.М. Зубачев, Д.В. Марченко // Материалы VII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности — 2018». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. — С. 18–26.

45. Роенко, В.В. Использование перегретой воды — новая парадигма развития техники МЧС [Текст] / В.В. Роенко, В.А. Пряничников // Русский инженер, Наукоемкие технологии. Бизнес-справочник: МКПП. — 2003. — № 2 (4). — С. 33–38.

46. Роенко, В.В. Использование перегретой воды для тушения пожаров [Текст] / В.В Роенко // Мир и безопасность. — 2004. — № 6. — С. 34–37.

47. Роенко, В.В. Температурно-активированная вода - новое направление развития пожарной и аварийно-спасательной техники МЧС [Текст] / В.В. Роенко // Сборник трудов 5-й юбилейной международной специализированной выставки «Пожарная безопасность XXI века» и 4-й международной специализированной выставки «Охранная и пожарная автоматика» (Комплексные системы безопасности). — М., 2005. — С. 104–109.

48. Роенко, В.В. Автомобиль пожарный многоцелевой с электросиловой установкой и установкой получения температурно-активированной воды [Текст] / В.В. Роенко // Сборник трудов 6-й юбилейной международной специализированной выставки «Пожарная безопасность XXI века». — М., 2006. — С. 14–15.

49. Роенко, В.В. Температурно-активированная вода — новое направление развития пожарной и аварийно-спасательной техники МЧС [Текст] / В.В. Роенко // Сб. трудов 6-й юбилейной международной специализированной выставки «Пожарная безопасность XXI века» — М., 2006. — С. 96–100.

50. Роенко, В.В. Уникальные свойства температурно-активированной воды [Текст] / В. В Роенко // Пожарное дело. — 2009. — № 4. — С. 20–22.

51. Роенко, В.В. Тушение кабельного коллектора температурно-активированной водой и левитирующей пеной [Текст] / В.В. Роенко, С.П. Храмцов [и др.] // Сб. материалов международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации — 2012». — М.: Академия ГПС МЧС России. — 2012. — С. 353–360.

52. Роенко, В.В. Применение температурно-активированной воды для тушения пожаров турбинных масел на объектах теплоэнергетики [Электронный ресурс] / В.В. Роенко, А.В. Пряничников, Е. Б. Бондарев // Технологии техносферной безопасности [сайт]. — Режим доступа: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-4/51-04-15.ttb.pdf (дата обращения: 19.10.2019).

53. Роенко, В.В. Объемный способ прекращения открытого горения в помещениях объектов энергетики [Текст] / В.В. Роенко, А.Д. Ищенко, С.М. Краснов, С.П. Храмцов, А.И. Соковнин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2016. — № 2. — С. 36–43. DOI: 10.25257/FE.2016.2.36-42

54. Роенко, В.В. Тушение пламени в протяженных замкнутых сооружениях энергообъектов [Текст] / В.В. Роенко, А.Д. Ищенко, С.М. Краснов, С.П. Храмцов, А.И. Соковнин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2016. — № 3. — С. 3–16. DOI: 10.25257/FE.2016.3.44-49

55. Роенко, В.В. Технология температурно-активированной воды: физическая сущность, история разработки, перспективы развития [Текст] / В.В. Роенко, А.П. Кармес // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2017. — № 3. — С. 15—20. DOI: 10.25257/FE.2017.3.15-20

56. Роенко, В.В. Тушение маслонаполненых кабелей в зигзагообразном коллекторе [Текст] / В.В. Роенко, А.Д. Ищенко, С.М. Краснов, С.П. Храмцов, А.И. Соковнин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2016. — № 4. — С. 38–42. DOI: 10.25257/FE.2016.4.38-42

57. Роенко, В.В. Объемный способ пожаротушения кабельных сооружений температурно-активированной водой [Текст] / В.В. Роенко, С.П. Храмцов, М.Д. Сегаль, С.М. Краснов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2017. — № 1. — С. 40–50.

58. Глоссарий [Электронный ресурс] // Системный оператор Единой энергетической системы [сайт]. — Режим доступа: http://so-ups.ru/index.php?id=glossary#c1373 (дата обращения 15.07.2019).

59. Единая энергетическая система России [Электронный ресурс] // Системный оператор Единой энергетической системы [сайт]. — Режим доступа: http://so-ups.ru/index.php?id=ees_2019&no_cache=1&print=1 (дата обращения 15.07.2019).

60. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2018 году [Электронный ресурс] // Системный оператор Единой энергетической системы [сайт]. — Режим доступа: https://www.so-ps.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2019/ups_rep2018.pdf (дата обращения 15.07.2019).

61. Шишкин, А.Н. ТЭК России. Курс на безопасность? [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации [сайт]. — Режим доступа: https://docviewer.yandex.ru/view/0/ТЭК России: Курс на безопасность?/234_XEJ.pdf (дата обращения 15.07.2019).

62. Информация об аварийности в электросетях и генерации [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации [сайт]. — Режим доступа: https://minenergo.gov.ru/node/267 (дата обращения 15.07.2019).

63. Пожары и пожарная безопасность с 2009 по 2018 гг. [Текст]: статистические сборники. — М.: ВНИИПО. — 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018; 2019. — 135 с.; 140 с.; 137 с.; 137 с.; 137 с.; 124 с.; 124 с.; 126 с.; 127 с.; 127 с.

64. 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.

65. Самородов, Ю.Н. Причины и последствия аварий и отказов турбогенераторов [Электронный ресурс] // Электросервис-НТЦГ [сайт]. — Режим доступа: https://elektro-nt.ru/investigation-of-the-causes-of-accidents/accidents-faults-of-turbogenerators/15-causes-consequences-of-accidents-and-failures-of-turbine-generators (дата обращения 17.07.2019).

66. Взрыв на казахстанской ГРЭС: есть жертвы [Электронный ресурс] // портал ЦентрАзия [сайт]. — Режим доступа: https://centrasia.org/newsA.php?st=1068889320 (дата обращения 17.07.2019).

67. 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) (дата обращения 17.07.2019).

68. Об аварии на Рефтинской ГРЭС, Постановление Правительства Свердловской области от 12 марта 2007 года №176-ПП [Электронный ресурс] // ООО «Дистрибьюторский центр «Кодекс» [сайт]. — Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/802092911 (дата обращения 17.07.2019).

69. ТГК-14 завершила подготовку к отопительному сезону в Республике Бурятии и запустила Улан-Удэнскую ТЭЦ-1 [Электронный ресурс] // ПАО «Территориальная генерирующая компания №14» [сайт]. — Режим доступа: https://www.tgk-14.com/news/company/arch.php?ELEMENT_ID=9693 (дата обращения 17.07.2019).

70. Компоновочные решения ТЭС как фактор снижения последствий крупных аварий [Электронный ресурс] // Портал РосТепло.ру [сайт]. — Режим доступа: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3231 (дата обращения 17.07.2019).

71. Правила устройства электроустановок [Текст]. — 7-е изд. (ПУЭ) / Главгосэнергонадзор России. — М.: Энергосервис, 2007. — 610 с.

72. 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.

73. 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.: Концерн Росэнергоатом, 2011. — 137 с.

74. Приказ Минтруда России от 24.07.2013 № 328н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» (Зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593) [Электронный ресурс] // ГАРАНТ [сайт]. — Режим доступа: https://base.garant.ru/70543150/ (дата обращения 19.07.2019).

75. Карякин, Р.Н. Научные основы концепции электробезопасности электроустановок [Текст] / Р.Н. Карякин // Электрические станции. — 1999. — № 2. — С. 56–66.

76. Карякин, Р.Н. Нормативные основы устройства электроустановок [Текст] / Р.Н. Карякин. — М.: Энергосервис, 1998. — 277 с.

77. Никольский, О.К. Основы теории и практики безопасности электроустановок и эксплуатации электрических сетей [Текст] / О.К. Никольский // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова. — 2000. — № 3. — С. 9–16.

78. Якобе, А.И. Оценка эффективности устройств защитного отключения [Текст] / А.И. Якобе, В.Д. Шаматава // Электричество. — 1983. — № 6. — С. 6–12.

79. Коструба, С.И. Математическое моделирование систем обеспечения электробезопасности [Текст] / С.И. Коструба // Электричество. — 1970. — № 9. — С. 87–89.

80. Коструба, С.И. Стохастическое моделирование систем обеспечения электробезопасности [Текст] / С.И. Коструба // Электричество. — 2003. — № 6. — С. 66–70.

81. Полонский, А.В. Автоматизированная система сбора и анализа электротравматизма. Статистический классификатор электротравм [Текст]: методические указания / А.В. Полонский. — Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. — 23 с.

82. Полонский, А.В. Повышение безопасности электроустановок низкого напряжения [Текст] / А.В. Полонский. — Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. — 39 с.

83. Полонский, А.В. Безопасность в электроустановках: состояние, тенденции и прогноз [Текст] / А.В. Полонский, О.К. Никольский // Ползуновский Альманах. — 1999. — №3. — С. 28–30.

84. Полонский, А.В. Перспективы развития нормативных основ применения устройств защитного отключения в России [Текст] / А.В. Полонский // Ползуновский Альманах. — 1999. — № 3. — С. 34–36.

85. Полонский, А.В. Основы автоматизированного проектирования системы электрооборудования [Текст] / А.В. Полонский // Ученые записи Павлодарского государственного университета. — 1999. — № 2. — С. 28–30.

86. Полонский, А.В. Устройство защитного отключения с электромеханическим преобразователем [Текст] / А.В. Полонский // Ученые записи Павлодарского государственного университета. — 1999. — № 3. — С. 31–35.

87. Копылов, С. Н. Определение безопасных расстояний при тушении электроустановок, находящихся под напряжением [Текст] / С.Н. Копылов, В.А. Кущук, Е.В. Баранов // Сб. науч. тр. «Пожарная безопасность — 2008». — М.: ВНИИПО, 2008. — С. 52–62.

88. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]. — Взамен ГОСТ Р 51057–97 ; введ. 25.10.2001. — М.: Изд-во стандартов, 2001. — 43 с.

89. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия [Текст] = Applied Regression Analysis / Н. Дрейпер, Г. Смит. — 3-е изд. — М.: Диалектика, 2007. — С. 912.

90. Ферстер, Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа [Текст] = Methoden der Korrelation - und Regressiolynsanalyse / Э. Ферстер, Б. Ренц. — М.: Финансы и статистика, 1981. — 302 с.

91. Радченко, С.Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей [Текст]: монография / С.Г. Радченко. — Киев: Санспарель, 2005. — 504 с.

92. Радченко, С.Г. Методология регрессионного анализа [Текст]: монография / С.Г. Радченко. — Киев: Корнийчук, 2011. — 376 с.

93. Храмцов, С.П. Исследования движения перегретой воды по пожарным рукавам [Текст] / С.П. Храмцов // Вестник Академии Государственной противопожарной службы. — 2006. — № 6. — С. 112–120.

94. Храмцов, С.П. Вода для тушения пожаров [Текст] / С. П. Храмцов // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — № 4. — С. 72–75.

95. Храмцов, С.П. Измерительный комплекс для исследования работы пожарно-технического оборудования при подаче температурно-активированной воды [Текст] / С.П. Храмцов // Автомобильная промышленность. — 2008. — № 7. — С. 34–36.

96. Храмцов, С.П. Эколого-экономический эффект использования температурно-активированной воды при тушении пожаров [Текст] / С.П. Храмцов // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — № 4. — С. 72–79.

97. Храмцов, С.П. Инновационные технологии пожаротушения температурно-активированной водой [Текст] / С.П. Храмцов, Е.Д. Додонов, А.В. Пряничников, А.П. Кармес // Сб. материалов Международной науч.-практ. конф «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации — 2008». — В 2-х ч. — Ч. 1. — Гомель: ГИИ. — 2008. — С. 84–91.

98. Храмцов, С.П. Разработка стволов подачи температурно-активированной воды для тушения с нулевой отдачей и полным раскрытием струи при использовании автомобиля пожарного многоцелевого [Текст] / С.П. Храмцов, А.В. Пряничников, П.В. Никишин, А.П. Кармес // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — № 11. — С. 44–48.

99. Храмцов, С. П. Практический метод расчета энергетической системы подачи температурно-активированной воды от теплоэнергетической установки для тушения пожаров [Текст] / С.П. Храмцов // Энергосбережение и Водоподготовка. — 2011. — № 3. — С. 61–64.

100. Безбородько, М.Д. Пожарная и аварийно-спасательная техника [Текст]: учебник: в 2 ч. — П 46. — Ч. 2. / М.Д. Безбородько, С.Г. Цариченко, В.В. Роенко [и др.]; под ред. М.Д. Безбородько. — С. 221–228 (Роенко В.В.); С. 228–239 (Храмцов С.П.).

101. Скрипов, В.П. Теплофизические свойства жидкостей в метастабильном состоянии [Текст]: справочник / В.П. Скрипов, Е.Н. Синицын, П.А. Павлов [и др.]. — М.: Атомиздат, 1980. — 208 с.

102. Летников, Ф.А. Активированная вода [Текст] / Ф.А. Летников, Т.В. Кащеева, А.Ш. Минцис. — Новосибирск: Наука, 1976. — 135 с.

103. Чистяков, Т.И. Конструкция, функционирование и аспекты применения автомобиля пожарного многоцелевого [Текст]: учебное пособие / Т.И. Чистяков, С.П. Храмцов [и др.]; под общ. ред. В.В. Бачкала. — Волгодонск: Волгодонский учебный центр ФПС МЧС России, 2015. — 203 с.

104. Чистяков, Т.И. Исследование возможности подачи огнетушащих веществ для тушения электрооборудования под напряжением [Текст] / В.Д. Федяев, Т.И. Чистяков // Материалы 5-й Международной науч.-практ. конф. «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации — 2016». —В 2- ч. — Ч. 2. — 2016. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. — С. 196–198.

105. Шимони, К. Теоретическая электротехника [Текст]: пер. с нем. / К. Шимони; под ред. проф. К. М. Поливанова. — М.: Мир, 1964. — 773 с.

106. Козлов, В.Н. Баллоэлектрический метод искусственного вызывания осадков [Текст] / В.Н. Козлов, Н.А. Коршун, А.В. Тыртышников // Гелиогеофизические исследования. — 2015. — Вып. 13. — С. 73–81.

107. Козлов, В.Н. Методы искусственного вызывания осадков для борьбы с лесными пожарами [Текст] / В.Н. Козлов. — СПб.: Инфо-да, 2011. — 202 с.

108. Козлов, В.Н. Физические основы искусственного образования облачности в верхней тропосфере [Текст] / В.Н. Козлов // Труды ГГО. — 2013. — Вып. 575. — С. 216–231

109. Козлов, В.Н. Теоретическое обоснование генерации заряженного гигроскопического реагента для искусственного вызывания осадков из облаков [Текст] / В.Н. Козлов, В.В. Клинго // Труды ГГО. — 2012. — Вып. 565. — С. 216–231.

110. Козлов, В.Н., Метеоролого-экономическая модель метеозащиты мегаполиса [Текст] / В.Н. Козлов, В.И. Акселевич, Г.И. Мазуров // Труды ГГО. — 2012. — Вып. — 566. — С. 182–202.

111. Козлов, В.Н. Исследование фазового состояния внутримассовой и фронтальной облачности над Северо-Западным регионом России применительно к проблеме активных воздействий [Текст] / А.П. Доронин, М.Ю. Белевич, В.Н. Козлов, Е.Е. Кильчинский, Р.В. Шереметьев // Труды ГГО. — 2010. — Вып. 561. —С. 242–265.

112. Козлов В.Н. Об электрических процессах в облаках [Текст] / В.В. Клинго, В.Н. Козлов // Тр. НИЦ ДЗА (Филиала ГГО). — 2002. — Вып. 4 (552). — С. 44–54

113. Козлов, В.Н. Физические основы образования заряженных гигроскопических частиц для искусственного регулирования осадков [Текст] / В.В. Клинго, В.Н. Козлов, Г.Г. Щукин // Тр. НИЦ ДЗА (Филиала ГГО). — 2002. — Вып. 4 (552). — С.76–86.

114. Кузнецов, В.В. Эксперименты по активному воздействию струи водяного пара на атмосферное электрическое поле [Текст] / В.В. Кузнецов, Н.В. Чернева, И.Ю. Бабаханов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. — 2009. — Т. 45. — № 6. — С. 803–808.

115. Шавлов, А.В. Взаимное притяжение и коалесценция капель воды в облаках и тумане [Текст] / А.В. Шавлов, В.А. Джуманджи // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. — 2016. — № 581. — С. 200–220.

116. Кузнецов, В.В. Исследование влияния искусственного облака на атмосферное электрическое поле [Текст] / В.В. Кузнецов, Н.В. Чернева, И.Ю. Бабаханов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. — 2007. — Т. 43. — № 2 . — С. 266 — 271.

117. Качурин, Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы [Текст] / Л.Г. Качурин. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990. — 463 с.

118. Стафеев, В.И. Элементарные структурные единицы конденсированных фаз и связанные с их электрическим зарядом явления [Текст] / В.И. Стафеев // Прикладная физика. — 2005. — № 4. — С. 31–39.

119. Верещагин, И.П. Основы электрогазодинамики дисперсных систем [Текст] / И.П. Верещагин, В.И. Левитов, Г.З. Мирзабекян [и др.]. — М.: Энергия, 1974. — 480 с.

120. Чистяков, Т.И. Электрические процессы при тушении электроустановок температурно-активированной водой на энергетических предприятиях [Текст] / Т.И. Чистяков, В. Д. Федяев // Сборник материалов всероссийской конференции и школы молодых ученых «Системы обеспечения техносферной безопасности — 2015». — Таганрог: Инженерно-техническая академия ЮФУ. — 2015. — С. 113–115.

121. Чистяков, Т.И. Применение теории цепей при анализе процессов тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики [Текст] / Т.И. Чистяков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2016. — № 4. — С. 13–21. DOI: 10.25257/FE.2016.4.13-21

122. Maxwell, J. C. On Faraday's Lines of Force [Text] / J. C. Maxwell // Transactions of the Cambridge Philosophical Society. — 1856. — V. 10. — № 1. — P. 155.

123. Maxwell, J.C. On Physical Lines of Force [Text] / J. C. Maxwell // Philosophical Magazine. — Ser. 4 — 1861, 1862. — V. 11, 13. — P. 161–175, 281–291, 338–347; 12–23, 85–95.

124. Maxwell, J.C. A dynamical theory of the electromagnetic field [Text] / J.C. Maxwell. — Philosophical Transactions of the Royal Society of London. — 1865. — Vol. 155. — P. 459–512.

125. Максвелл, Дж.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля [Текст] / Дж. К. Максвелл. — М.: ГИТТЛ, 1952. — С. 632

126. Физическая энциклопедия [Текст]: В 5-ти т. Том 2. / под ред. А.М. Прохорова [и др.]. — М.: Советская энциклопедия, 1990. — 704 с.

127. Пряничников, А.В. Тушение проливов нефти и нефтепродуктов метастабильными парокапельными струями воды [Текст] / А.В. Пряничников, В.В. Роенко, Е.Б. Бондарев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2015. — № 4. — С. 7–12. DOI: 10.25257/FE.2015.4.7-12

128. Говорков, В.А. Электрические и магнитные поля [Текст] / В.А. Говорков. — М.: Связьиздат, 1951. — 341 с.

129. Дейч, М. Е. Газодинамика двухфазных сред [Текст] / М.Е. Дейч, Г.А. Филиппов. — М.: Энергоиздат, 1981. — 472 с.

130. Витман, Л.А. Распыливание жидкости форсунками [Текст] / Л.А. Витман, Б. Д. Кацнельсон, И.И. Палеев. — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. — 264 с.

131. Фукс, Н.А. Механика аэрозолей [Текст] / Н.А. Фукс. — М.: Изд-во АН СССР. — 1955. — 350 с.

132. Васенин, И.М. Математическое моделирование двухфазных конвективных течений с малыми частицами [Текст] / И.М. Васенин, Н.Н. Дьяченко, К.Е. Елкин, Р.К. Нариманов // Прикладная механика и техническая физика. — 2004. — Т. 45. — № 6 (268). — С. 19–25.

133. Соу, С. Гидродинамика многофазных систем [Текст] / С. Соу. — М.: Мир, 1971. — 536 с.

134. Уоллис, Г. Одномерные двухфазные течения [Текст] / Г. Уоллис. — М.: Мир, 1972. — 440 с.

135. Стернин, Л.Е. Двухфазные моно- и полидисперсные течения газа с частицами [Текст] / Л.Е. Стернин, Б.Н. Маслов, А.А. Шрайбер, А.М. Подвысоцкий. — М.: Машиностроение, 1980. — 172 с.

136. Кутателадзе, С.С. Гидродинамика газожидкостных систем [Текст] / С.С. Кутателадзе, М.А. Стырикович. — М.: Энергия, 1976. — 296 с.

137. Дейч, М.Е. Газодинамика двухфазных сред [Текст] / М.Е. Дейч, Г.А. Филиппов. — М.: Энергоиздат, 1981. — 472 с.

138. Васенин, И.М. Газовая динамика двухфазных течений в соплах [Текст] / И.М. Васенин, В.А. Архипов [и др.]. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1986. —264 с.

139. Нигматулин, Р.И. Динамика многофазных сред [Текст] / Р.И. Нигматулин. — М.: Наука, 1987. — Ч. 1. — 464 с.

140. Нигматулин, Р.И. Динамика многофазных сред [Текст] / Р.И. Нигматулин. — М.: Наука, 1987. — Ч. 2. — 360 с.

141. Крайко, А.Н., Нигматулин, Р.И., Старков, В.К., Стернин, Л.Е. Механика многофазных сред [Текст] / А.Н. Крайко, Р.И. Нигматулин, В.К. Старков, Л.Е. Стернин // Итоги науки и техники. Гидромеханика. — М.: ВИНИТИ, 1972. — Т. 6. — С. 93–176.

142. Шрайбер, А.А. Многофазные полидисперсные течения с переменным фракционным составом дискретных включений [Текст]/ А.А. Шрайбер // Итоги науки и техники. Комплексные и специальные разделы механики. — М.: ВИНИТИ, 1988. — Т. 3. — С. 3–80.

143. Соковнин, А.И. Осаждение дыма на объектах энергетики температурно-активированной водой [Текст] / В.В. Роенко, А.Д. Ищенко // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация: научный журнал. — 2016. — № 1. — С. 54–59. DOI: 10.25257/FE.2016.1.54-59

144. Соковнин, А.И. Условия видимости для пожарных в задымлѐнной зоне при тушении пожаров на объектах энергетики [Электронный ресурс] / А.Д. Ищенко, В.Д. Федяев // Технологии техносферной безопасности. — 2016. — № 3(67). — Режим доступа: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-3/26-03-16.ttb.pdf (дата обращения 20.10.2020).

145. Соковнин, А.И. Защита оперативного персонала энергопредприятия от воздействия опасных факторов пожара [Электронный ресурс] / И.С. Фогилев, А.Д. Ищенко, М.А. Шурыгин // Технологии техносферной безопасности. — 2016. — № 5 (69). — Режим доступа: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/31-05-16.ttb.pdf (дата обращения 20.10.2020).

146. Соковнин, А.И. Теоретическое и экспериментальное обоснование способа осаждения дыма на объектах энергетики [Текст] / А.И. Соковнин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация: научный журнал. — 2016. — № 4. — С. 29–37. DOI: 10.25257/FE.2016.4.29-37

147. Соковнин, А.И. Тушение пожаров в условиях недостаточной видимости [Текст] / А.Д. Ищенко // Материалы 4-й Международной научно-технической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации — 2015». — В 2-х ч. — Ч. 1. — 2015 — М.: Академия ГПС МЧС России, 2015 — С. 154–159.

148. Соковнин, А.И. Пожары на объектах энергетики сопровождавшихся задымлением в помещениях [Текст] / А.И. Соковнин // Материалы 5-й Международной научно-технической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации — 2015». — В 2-х ч. — Ч. 2. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2015 — С. 189–192.

149. Соковнин, А.И. Возможность использования температурно-активированной воды для осаждения дыма [Текст] / А.И. Соковнин // Материалы

5-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности — 2016». — М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. — С. 48–52.

150. Соковнин, А.И. Осаждение дыма при тушении пожаров на объектах энергетики [Текст] / А.И. Соковнин // Сборник материалов XI международной научно- практической конференции молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы». — Минск: УГЗ, 2017. — С. 144.

151. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст] / П.А. Коузов. — 3-е изд., перераб. — Л.: Химия, 1987. — 264 с.

152. Алексеев, В.Б. Распыление перегретой воды: Практика исследования сложных дисперсионных структур [Текст] / В.Б. Алексеев, В.И. Залкинд [и др.] // Теплофизика высоких температур. — 2014. — Т. 52. — № 3. — С. 456–462. DOI: 10.7868/S004036441402001X

153. Алексеев, В.Б. Теплофизические и инженерные проблемы мелкодисперсного распыла и впрыска воды в компрессор ГТУ [Текст] / В.Б. Алексеев, В.И. Залкинд [и др.] // Теплофизика высоких температур. — 2015. — Т. 53. — № 2. — С. 221–224. DOI: 10.7868/S0040364415020027

154. Алексеев, В.Б. О природе бимодального распределения капель по размерам при распыле перегретой воды [Текст] / В.Б. Алексеев, В.И. Залкинд [и др.] // Теплофизика высоких температур. — 2015. — Т. 53. — № 2. — С. 221–224. DOI: 10.7868/S0040364415020027

155. Dumouchell, C. Light multiple scattering correction of lazer — diffraction spray drop-size distribution measurements [Текст] / C. Dumouchell, P. Yangyingsakthavorn, J. Cousin // International Journal of Multiphase Flow. — 2009. — Vol. 35. — P. 277–287.

156. Александров, А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: справочник [Текст] / А.А. Александров, Б.А. Григорьев; рек. Гос. службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98. — М.: МЭИ, 1999. — С. 168.

157. Козлов, Б.К. Виды течений газожидкостных смесей и границы их устойчивости [Текст] / Б.К. Козлов // ЖТФ. — 1954. — Т.24. — С. 2285–2288.

158. Фисенко, В.В. Критические двухфазные потоки [Текст] / В.В. Фисенко. — М.: Атомиздат, 1978. — 160 с.

159. Вайсман, М.Д. Термодинамика парожидкостных потоков [Текст] / М.Д. Вайсман. — Л.: Энергия, 1967. — 272 с.

160. Невинский, В.В. Гидрогазодинамика плоских и пространственных течений [Текст] / В.В. Невинский. — Л.: ЛПИ, 1975. — 174 с.

161. Стырикович, М.А. Тепломассообмен и гидродинамика в двухфазных потоках атомных электрических станций [Текст] / М.А. Стырикович, В.С. Полонский, Г.В. Циклаури. — М.: Наука, 1982. — 368 с.

162. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред [Текст] / Р.И. Нигматулин. — М.: Наука, 1982. — 336 с.

163. Уоллис, Г. Одномерные двухфазные течения [Текст] / Г. Уоллис. — М.: Мир, 1972. — 440 с..

164. Скрипов, В.П. Метастабильная жидкость [Текст] / В.П. Скрипов. — М.: Наука, 1972. — 312 с.

165. Скрипов, В.П. Теплофизические свойства жидкостей в метастабильном состоянии [Текст]: справочник / Скрипов В.П. [и др.]. — М.: Атомиздат, 1980. — 208 с.

166. Барилович, В.А. Пути повышения эффективности сопел, работающих на вскипающих потоках [Текст] / В.А. Барилович [и др.] // Известия вузов. Сер. Энергетика. — 1987. — № 5. — С.56–60.

167. Дейч, М.Е. Газодинамика двухфазных сред [Текст] / М.Е. Дейч, Г.А. Филиппов. — М.: Энергоиздат, 1981. — 472 с.

168. Зысин, В.А. Вскипающие адиабатные потоки [Текст] / В.А. Зысин [и др.]. — М.: Атомиздат, 1976. — 152 с.

169. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Л.Г. Лойцянский. — М.: Наука, 1978. — 736 с.

170. Лабунцов, Д.А. Механика двухфазных систем [Текст] / Д.А. Лабунцов, В.В. Ягов. — М.: Изд. МЭИ, 2000. — 373 с.

171. Барилович, В.А. Одномерный расчет инжекторов, работающих на водяном паре и вскипающей воде [Текст] / В.А. Барилович, Ю.А. Смирнов // Труды СПбГТУ (энергетические машины и установки), 1999 . — № 481. — С. 3–13.

172. Абрамович, Г.Н. Теория турбулентных струй [Текст] / Г.Н. Абрамович. — М.: Наука, 1984. — 716 с.

173. Вулис, Л.А. Теория струй вязкой жидкости [Текст] / Л.А. Вулис, В.П. Кашкаров. — М.: Наука, 1965. — 431 с.

174. Барилович, В.А. О длине сопел Лаваля, работающих на вскипающих потоках [Текст] / В.А. Барилович, Б.К. Иванов // Труды ЛПИ. — 1977. — № 358. — С. 37–42.

175. Барилович, В.А. Расчет сопел с парогенерирующими решетками, работающих на вскипающей воде [Текст] / В.А. Барилович // Известия вузов СССР. Сер. Энергетика. — 1991. — № 7. — С. 72–77.

176. Блинков, В.Н. Модель течения вскипающей жидкости в соплах [Текст] / В.Н. Блинков, С.Д. Фролов // ИФЖ.— 1982.— Т.42. — №5.— С. 741–746.

177. Виноградов, В.Е. Разгон потока вскипающей воды в коротких соплах [Текст] / В.Е. Виноградов, Е.Н. Синицын // Теплофизика высоких температур. — 1988.— Т. 26. — № 2.— С. 311–314.

178. Френкель, Я.И. Кинетическая теория жидкостей [Текст] / Я.И. Френкель. — М.: Л.: Изд. АН СССР, 1959. — 458 с.

179. Барилович, В.А. К расчету двухфазной турбины, работающей на вскипающей воде [Текст] / В.А. Барилович, С.Ф. Мирошников, В.И. Стариков // Труды ЛПИ. — 1986. — № 420. — С. 58–65.

180. Барилович, В.А. Расчет сопел Лаваля, работающих на вскипающей воде [Текст] / В.А. Барилович, С.Ф. Мирошников, Ю.А. Смирнов // Труды СПбГПУ. — 2004. — № 491. — С. 47–56.

181. Делайе, Дж. Теплообмен и гидродинамика в атомной и тепловой энергетике [Текст] / Дж. Делайе, М. Гио, М. Ритмюллер. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 422 с.

182. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособие для студентов физических специальностей университетов [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; отв. ред. Л. П. Питаевский. — В 10 т. — Т. 8. Электродинамика сплошных сред. Сер. Теоретическая физика. — М.: Наука, 1988. — 652 с.

183. Чистяков, Т.И. Влияние геометрических параметров струй температурно-активированной воды на комплексное сопротивление при тушении пожаров класса Е [Текст] / Т.И. Чистяков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2017. — № 2. — С. 12–21. DOI: 10.25257/FE.2017.2.12-21

184. Эфрос, А.Л. Физика и геометрия беспорядка [Текст] / А.Л. Эфрос. — М.: УРСС, 1994. — 184 с.

185. Stauffer, D. Introduction to Percolation Theory [Текст] / D. Stauffer, A. Aharony. — London: Taylor & Francis, 1995. — 181 p.

186. Шкловский, Б.И. Электронные свойства легированных полупроводников [Текст] / Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос. — Гл. 5. Теория протекания. — М.: Наука, 1979. — 435 с.

187. Хейфец, Л.И. Многофазные процессы в пористых средах [Текст] / Л.И. Хейфец, А.В. Неймарк. — М.: Химия, 1982. — 320 с.

188. Quintanilla, J. Efficient measurement of the percolation threshold for fully penetrable discs [Текст] / J. Quintanilla, S. Torquato, R. Ziff // J. Phys. A. — 2000. — Vol. 33, no. 42. — P. L399–L407.

189. Grinchuk, P.S. Surfaces of percolation systems in lattice problems [Текст] / P.S. Grinchuk, O.S. Rabinovich // Phys. Rev. E. — 2003. — Vol. 67, no. 4. — Art. no. 046103.

190. Toker, D. Tunnelling and percolation in metal-insulator composite materials [Текст] / D. Toker, D. Azulay, N. Shimoni, I. Balberg, O. Millo // Physical Review. — 2003. — B. 68. — 041403 (R).

191. Pike, G.E. Percolation and conductivity — A computer study [Текст] / G.E. Pike, C.H. Seager // Phys. Rev. B. — Vol. 10, no. 4. — 1974. — P. 1421–1434.

192. Kertesz, J. Monte Carlo Renormalization Group Study of the Percolation Problem of Discs with a Distribution of Radii [Текст] / J. Kertesz, T. Vicsek // Z. Phys. B — Condensed Matter. —1982. — Vol. 45. — P. 345–350.

193. Ottavi, H. Percolation in a continuous two-dimensional medium [Текст] / H. Ottavi, J.P. Gayda // J. Phys. France. — 1974. — Vol. 35, no. 9. — P. 631–633.

194. Kirkpatrick, S. Percolation and conduction [Text] / S. Kirkpatrick // Rev.Mod.Phys. —1973. — Vol. 45, no. 4. — P. 574–588.

195. Антонов, А.С. Электрофизические свойства перколяционных систем. Монография [Текст] / А.С. Антонов, В.М. Батенин [и др.]; под ред. А.Н. Лагарькова. — М.: ИВТАН, 1990. — 120 с.

196. Снарский, А.А. Перколяционные эффекты в термоэлектрических неупорядоченных двухфазных средах [Текст] / А.А. Снарский, М.И. Женировский // Термоэлектричество. — 2007. — № 3. — С. 65–81.

197. Снарский, А.А. Знал ли Максвелл о пороге протекания? (К пятидесятилетию создания протекания) [Текст] / А.А. Снарский // Успехи физических наук. — 2007. — Т. 177. — № 12. — С. 1341–1344. DOI: 10.3367/UFNr.0177.200712g.1341

198. ГОСТ Р 8.568–2017. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения» [Текст] // Утвержден и введен в действие. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2017 г. № 9 2121-ст. — М.: Изд-во стандартов, 2018. — 24 с.

199. ГОСТ РВ 15.211–2012. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделий [Текст] // Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 28 ноября 2002 г. № 435-ст. — М.: Изд-во стандартов, 2013. — 12 с.

200. ГОСТ 22261–94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия [Текст] // Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 6 от 21 октября 1994 г.) — М.: Изд-во стандартов, 1995. — 69 с.

201. ГОСТ Р 52319–2005. Безопасность электрического оборудования для измерения, управления и лабораторного применения. Часть 1. Общие требования [Текст] // Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 марта 2005 г. № 46-ст. — М.: Изд-во стандартов, 2006. — 153 с.

202. ГОСТ Р 51522.1–2011. Совместимость технических средств электромагнитная. Электрическое оборудование для измерения, управления и лабораторного применения. Часть 1. Общие требования и методы испытаний [Текст] // Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 ноября 2011 г. № 505-ст. — М.: Изд-во стандартов, 2012. — 24 с.

203. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5) / [Текст] // Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29.12.69 № 1394. — М.: Изд-во стандартов, 1970. — 83с.

204. Венцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е. С. Венцель, Л. А. Овчаров. — М.: Наука, 1988. — 480 с.

205. Kenneth, L. Robust Statistical Modeling Using the t Distribution [Текст] / L. Kenneth, J. Roderick, M. Jeremy // Journal of the American Statistical Association. — 1989. — Vol. 84. — Rel. 408. — P. 881–896.

206. Ralph, W. Polar Generation of Random Variates with the t-Distribution [Текст] / W. Ralph // Mathematics of Computation. — 1994. — Vol. 62. — Rel. 206. — P. 779–781.

207. Демиденко, Е. З. Линейная и нелинейная регрессии [Текст] / Е.З. Демиденко. — М.: Финансы и статистика, 1981. — 302 с.

208. Себер, Дж. Линейный регрессионный анализ [Текст] / Дж. Себер; пер. с англ. В. П. Носко. — М.: Мир, 1980. — 456 с.

209. Справочник химика. Второе издание. Переработанное и дополненное. Том 1. Общие сведения. Строение веществ. Свойства важнейших веществ. Лабораторная техника [Текст]. — М.; Л.: ХИМИЯ, 1966. — 540 с.

210. Внуков, А.К. Экспериментальные работы на парогенераторах (организация, анализ и планирование) [Текст] / А.К. Внуков. — М.: Энергия, 1971. — 296 с.

211. Ахадов, Я.Ю. Диэлектрические свойства чистых жидкостей [Текст]: справочник / Я.Ю. Ахадов. — М.: Изд-во стандартов, 1972. — 413 с.

212. Надь, Ш.Б. Диэлектрометрия [Текст] / Ш.Б. Надь; пер. с венгерского В.Д. Калашникова; под ред. В.В. Малова. — М.: Энергия, 1976. — 200 с.

213. Площадь поверхности тела человека [Электронный ресурс] // Портал juxtra.info [сайт]. — Режим доступа: https://juxtra.info/diagnostics/body_surface_area.php (дата обращения 05.09.2019).

Приложение А

(обязательное)

ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ И УГЛА РАСКРЫТИЯ СТРУЙ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ПРИ ИХ ПОДАЧЕ ИЗ ПОЖАРНЫХ СТВОЛОВ АВТОМОБИЛЯ ПОЖАРНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО

ПРОГРАММА И МЕТОДИКА

экспериментального исследования сопротивления постоянному току и угла раскрытия струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого

2019

Согласовано	Утверждаю
Заместитель начальника ФАУ ДПО Волгодонский учебный ФПС (по учебной работе) – начальник отдела	Начальник ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС
_____Черевиченко Р.А.	_____Кудрин А.Н.
«10» апреля 2019 г.	«10» апреля 2019 г.

ПРОГРАММА И МЕТОДИКА

экспериментального исследования сопротивления постоянному току и угла раскрытия струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого

Согласовано	Согласовано
Профессор кафедры пожарной техники (в составе учебно-научного комплекса пожарной и аварийно-спасательной техники) Академии ГПС МЧС России, кандидат технических наук, профессор	Начальник отдела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России, кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы
_____Роенко В.В.	_____Храмцов С.П.
«15» апреля 2019 г.	«15» апреля 2019 г.

Волгодонск 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1 Объект и предмет экспериментального исследования 4
2 Термины и определения 5
3 Цели и задачи экспериментального исследования 6
4 Условия проведения экспериментального исследования 7
5 Объем экспериментального исследования 10
6 Охрана труда 22
7 Материально-техническое обеспечение экспериментального исследования 24
8 Метрологическое обеспечение экспериментального исследования 28
9 Оформление результатов экспериментального исследования 29
10 Список используемой литературы и иных источников 30
Приложение А Формы Акта и протокола проведения экспериментального исследования 32
Приложение Б Образцы исследуемых стволов для подачи ТАВ 34
Приложение В Место проведения экспериментального исследования 36
Приложение Г Опытно-экспериментальный стенд 37
Приложение Д Расчёт расходных материалов (потребления дизельного топлива, электрической энергии и воды на работу УПТАВ) 41

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая Программа и Методика экспериментального исследования (далее – Программа) распространяется на технические средства подачи температурно-активированной воды (далее – ТАВ). К техническим средствам подачи ТАВ в частности относятся пожарные стволы разных типов (далее – стволы для подачи ТАВ), а так же установка пожаротушения температурно-активированной водой (далее – УПТАВ), для получения горячей и недогретой воды. УПТАВ может быть установлена на мобильном шасси, например многоцелевого пожарно-спасательного автомобиля АПМ3 – 2/40 – 1,38/100 – 100 (43118) мод. ПиРо 3 –МПЗ (далее – АПМ) [1, 2]. Стволы для подачи ТАВ, формируют струи, которые имеют коническую форму с геометрическими параметрами: длиной и углом раскрытия.

Программа предусматривает динамические электротехнические измерения активного (резистивного) сопротивления струй ТАВ, применяемых при тушении пожаров электроустановок (ЭУ) под напряжением (пожары класса Е), фото и видео фиксацию геометрических параметров струй ТАВ.

Объем и методика проведения испытаний определяются настоящей Программой.

В Программе изложены последовательность и методика экспериментального исследования резистивного сопротивления постоянному току струй ТАВ, в зависимости от расстояния между срезом сопла ствола и корпусом ЭУ при подаче ТАВ от АПМ.

Измерения сопротивления проводятся для всех типов стволов для подачи ТАВ.

Программа и методика экспериментального исследования учитывает уникальные особенности струй ТАВ, переносящие электрический заряд, сгенерированный в процессе взрывного вскипания недогретой воды при использовании стволов для подачи ТАВ.

Полученные данные экспериментального исследования позволят разработать рекомендации по эффективному и безопасному тушению ТАВ пожаров класса Е.

1 ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Предметом исследования настоящей Программы являются электрическое сопротивление постоянному току струй ТАВ.

Объектом исследования являются стволы для подачи ТАВ (приложение Б), удовлетворяющие требованиям:

- изготовлены в соответствии с требованиями стандартов по рабочим чертежам по ГОСТ 2.109, утвержденным в установленном порядке;

- изготовлены в климатических исполнениях У, ХЛ и Т для категории размещения 1 по ГОСТ 15150;

- выдерживают рабочую среду с гидравлическим давлением 0,9 - 12,5 МПа, температуру до 350 °С (в зависимости от режима УПТАВ);

- испытаны в соответствии с требованиями безопасности по ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.037.

2 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Электроустановка (ЭУ) — совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения, потребления электрической энергии и преобразования её в другой вид энергии.

Пожары класса Е — горение электроустановок и электрооборудования, находящегося под напряжением.

Недогретая вода — вода, не достигшая при данной температуре и избыточном давлении точки кипения.

Температурно-активированная вода (ТАВ) - это парокапельная смесь, полученная в результате мгновенного перехода (за время 10^{-4}–10^{-9} с) недогретой воды в метастабильное состояние и последующего взрывного вскипания [3].

3 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель экспериментального исследования – определить электрическое сопротивление постоянному току и геометрические параметры струй ТАВ.

Задачи экспериментального исследования:

- произвести серию замеров активного (резистивного) электрического сопротивления постоянному току струй ТАВ (далее – сопротивление), в зависимости от расстояния между срезом сопла ствола и корпусом ЭУ при подаче ТАВ от УПТАВ;

- произвести фото и видео фиксацию струй ТАВ в моменты измерения сопротивления;

- определить расчетным путём динамику изменения усреднённого сопротивления в зависимости от расстояния между срезом сопла ствола и корпусом ЭУ;

- применяя программный продукт iPhotoMEASURE Version 3, определить усреднённые геометрические параметры струй ТАВ на основе обработки материалов фото фиксации струй ТАВ в моменты измерения сопротивления.

4 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Место проведения экспериментального исследования (Приложение В) – внутренняя территория ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС (далее – ВУЦ). Испытания проводятся на ровной асфальтированной поверхности.

Испытания проводят в нормальных климатических условиях по ГОСТ 15150. При отсутствии осадков, температуре воздуха от 10 до 30 ^{o}C и скорости бокового ветра, оказывающего воздействие на струю ТАВ, не более 1 *м/с*. Температура воздуха и скорость ветра измеряется с помощью цифрового анемометра МЕГЕОН 11002.

Расстояние (длину струи) между срезом сопла ствола, подвижным сетчатым зондом и металлическим экраном измеряют рулеткой со стальной лентой по ГОСТ 7502.

Для проведения испытаний недогретая вода подаётся от АПМ с параметрами соответствующими режиму подачи ТАВ 100, в соответствии с Руководством по эксплуатации АПМ и Учебным пособием [2, 4], при этом температура, давление и расход недогретой воды на выходе УПТАВ контролируются оператором по показаниям вторичных преобразователей ТРМ 202 на пульте измерительно-управляющего комплекса (ИУК) (рис. 1).

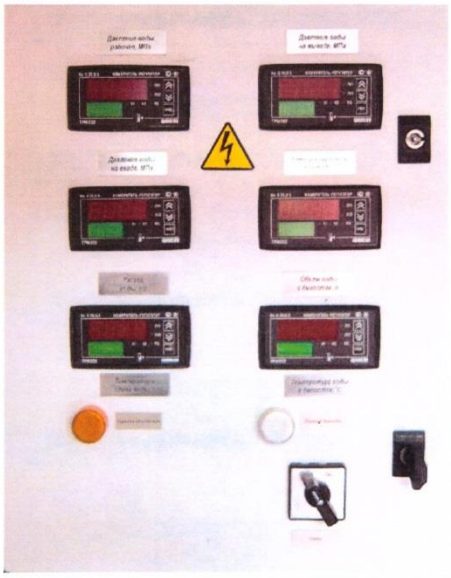
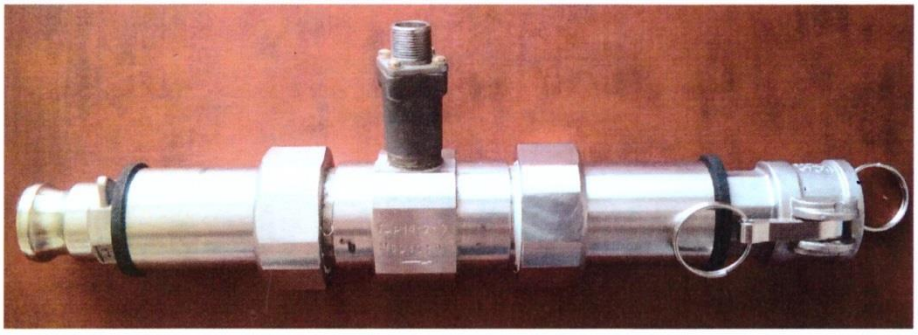


Рисунок 1. Пульт измерительно-управляющего комплекса УПТАВ с ТРМ 202.

8

Расход недогретой воды на входе в испытуемый ствол для подачи ТАВ, устанавливается и контролируется с помощью измерительного комплекса из диссертации [5], в состав которого входит: турбинный датчик расхода ТДР14–2–3; кабель связи; измеритель с прибором ИТ 2518 (рис. 2).

а) б)



в)

Рисунок 2. Состав оборудования измерительного комплекса:
а) измеритель с прибором ИТ2518; б) кабель связи; в) турбинный датчик расхода ТДР14-2-3

Сопротивление струй ТАВ измеряется с помощью мегаомметра М4122U, входящего в состав опытно-экспериментального стенда.

Фотофиксация моментов измерения сопротивления осуществляется цифровым фотоаппаратом Nikon D3200Kit 18-140 VR или им подобным.

Видео фиксация эксперимента ведётся любой цифровой видеокамерой, с целью архивации хронологии событий и как источник дополнительной информации.

Предел допустимой основной погрешности приборов используемых для эксперимента принять:

1. Для контроля параметров недогретой воды на выходе УПТАВ:

- по температуре ±0,5 %;

- по давлению ±0,5 %;

- по расходу ±2 %.

Порядок показаний измеряемых параметров:

- температура 0,1 °*C*;

- давление 0,01 *МПа*;

- расход 0,01 *л/с*.

2. Для контроля расхода недогретой воды на входе в испытуемый ствол:

- по расходу ±2 %.

Порядок показаний измеряемых параметров:

- расход 0,01 *л/с*.

3. Для контроля климатических параметров окружающей среды:

- по температуре воздуха ± 2 °*C*;

- по скорости ветра ±5 %.

Порядок показаний измеряемых параметров:

- по температуре воздуха 0,2 °*C*;

- по скорости ветра 0,1 *м/с*.

4. Для контроля сопротивления струй ТАВ постоянному току:

- по сопротивлению ±3 %.

Диапазон измеряемых сопротивлений от 100 *кОм* до 200 *ГОм* при измерительном напряжении постоянного тока 2500 *В*.

10

5 ОБЪЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение электрического сопротивления $R(l_{полн.})$ постоянному току струй ТАВ, в зависимости от их длины $l_{полн.}$ при исследовании стволов для подачи ТАВ трёх типов (Приложение Б):

1. Ствол трансформер (сопло – шайба с острой кромкой):

а) в положении для подачи компактной струи (экспериментальное исследование № 1а);

б) в положении для подачи распылённой струи (экспериментальное исследование № 1б);

2. Ствол пика (сопло Лаваля) (экспериментальное исследование №2):

3. Ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлинённой выходной частью) (экспериментальное исследование №3).

Методика проведения экспериментального исследования всех стволов для подачи ТАВ одинаковая и с изменением номера экспериментального исследования не меняется.

В каждом экспериментальном исследовании необходимо провести n измерений сопротивления струи $R_{изм.i}$ при верхнем положении переключателя и k измерений сопротивления струи $R_{изм.j}$ при нижнем положении переключателя полярности щупов мегаомметра, начиная с минимального расстояния от ствола для подачи ТАВ до сетчатого зонда с постепенным ступенчатым увеличением $l_{полн.}$ с шагом $\Delta l_{полн.}$. Полученный массив значений $R_{изм.i}$ и $R_{изм.j}$ усредняется (7) для получения величины $R_{изм.}$. Применяя выражение (11) находим значение сопротивления струи ТАВ $R(l_{полн.})$ в точке измерения.

При измерениях проводится видео и фото фиксация изображения струи в моменты времени соответствующие замерам сопротивления. Из анализа фотоматериалов, проводимых с помощью программного продукта iPhotoMEASURE Version 3, находим n и k значений углов раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$ и $\alpha_{изм.j}$ соответственно. Применяя выражение (12) находим значение усреднённого угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$.

11

Теоретические основы эксперимента:

Испытания проводятся с помощью опытно-экспериментального стенда (Приложение Г).

Схема проведения испытаний и опытно-экспериментального стенда представлена на рисунке 3.

Для стабилизации конической формы струи ТАВ, снижения турбулентности на её границах при контакте с атмосферным воздухом и уменьшения влияния бокового ветра создаётся подпор воздуха в направлении движения струи. С этой целью применяется дымосос с рукавом и закреплённым на стойке держателя ствола насадком[1].

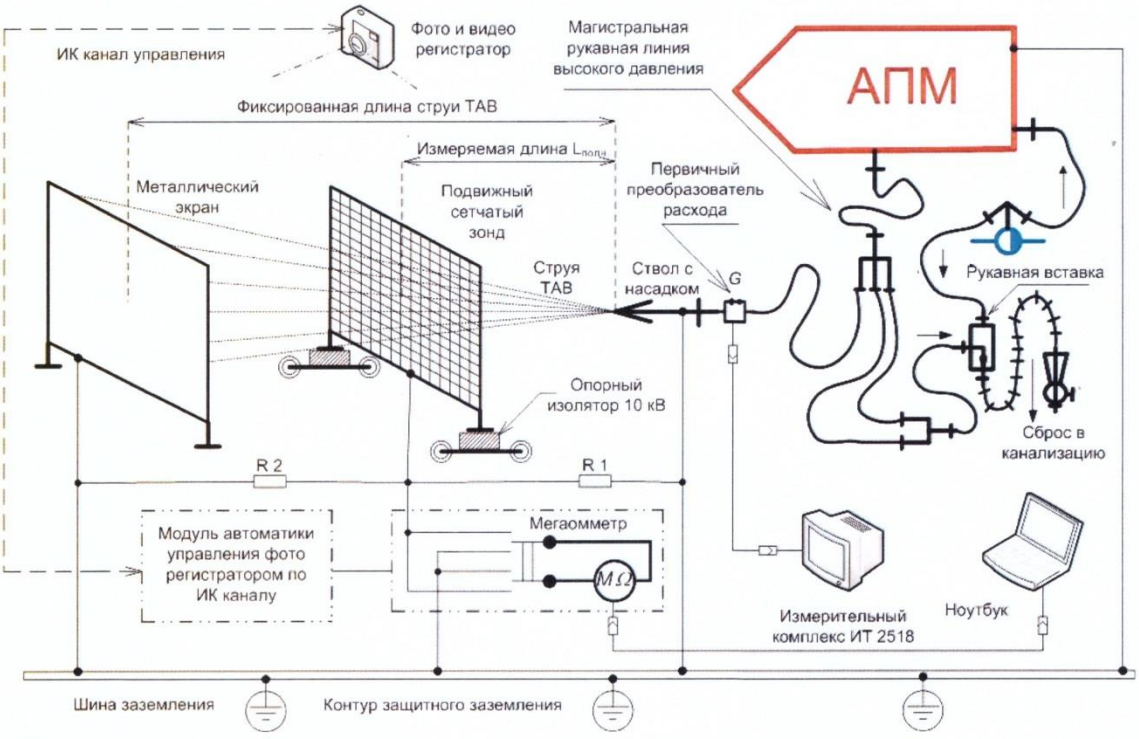


Рисунок 3. Схема проведения исследования и опытно-экспериментального стенда для измерения сопротивления постоянному току струи ТАВ

В экспериментальном исследовании (рис. 3) основным электроизмерительным прибором является цифровой мегаомметр постоянного тока M4122U, подключаемый для съёма показаний и управляемый с помощью ноутбука.

[1] Примечание: на схеме опытно-экспериментального стенда (рис. 3) система подпора воздуха не показана (см. фотографии приложение Г).

Оператор УПТАВ организует подачу недогретой воды от АПМ в режиме ТАВ 100 и следит за её параметрами (температура, давление, расход) по показаниям индикаторов ТРМ 202 на пульте ИУК. Для регулирования расхода *G* недогретой воды поступающей к испытываемому стволу для подачи ТАВ, применён измерительный комплекс ИТ 2518 с турбинным датчиком расхода типа ТДР14–2–3. Корпуса АПМ, датчика расхода, ствола, металлического экрана – соединены в одну электрическую цепь посредством общей шины заземления. На схеме *R1* сопротивление части струи ТАВ между испытываемым стволом и подвижным сетчатым зондом, а *R2* сопротивление части струи ТАВ между подвижным сетчатым зондом и неподвижным металлическим экраном. Сопротивления *R1* и *R2* на схеме соединены параллельно, а их общее сопротивление измеряемое мегаомметром $R_{изм.}$ равно:

$$R_{изм.} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} \tag{1}$$

Общее полное сопротивление струи ТАВ $R_{общ.}$ равно:

$$R_{общ.} = R1 + R2 \tag{2}$$

При некотором положении подвижного сетчатого зонда (на некотором расстоянии от испытуемого ствола $l_{полн.}$), существует точка, в которой выполняется условие:

$$R1 = R2 = R_{общ.} / 2 \tag{3}$$

В этой точке величина параллельного соединения сопротивлений *R1* и *R2* достигнет максимума R_{max} и будет равна (при учёте выражений (1 и 3)):

$$R_{max} = \frac{R1^2}{2 \cdot R1} = \frac{R2^2}{2 \cdot R2} = \frac{R1}{2} = \frac{R2}{2} \tag{4}$$

Отсюда следует, что:

$$2 \cdot R_{max} = R1 = R2 \tag{5}$$

Таким образом, с учётом формулы (2) получаем:

$$R_{общ.} = 2 \cdot R_{max} + 2 \cdot R_{max} = 4 \cdot R_{max} \tag{6}$$

Согласно выражению (6), общее сопротивление струи ТАВ от заземлённого ствола до металлического заземлённого экрана равно учетверённому

максимальному сопротивлению R_{max}, измеренному мегаомметром на некотором расстоянии $l_{полн.}$ от ствола до зондирующей сетки, где выполняется условие (3).

Для повышения точности измерения величины $R_{изм.}$, а так же нейтрализации влияния постоянной составляющей и её флуктуаций, образующейся при переносе отрицательного заряда каплями струи ТАВ, необходимо провести n измерений при верхнем положении переключателя и k измерений при нижнем положении переключателя полярности щупов мегаомметра, при каждом увеличении расстояния на $\Delta l_{полн.}$ *м*, а полученные данные усреднить по количеству измерений:

$$R_{изм.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_{изм.i} + \sum_{j=1}^{k} R_{изм.j}}{n+k} \tag{7}$$

При перемещении зонда от точки с сопротивлением R_{max} в направлении к стволу т.е. дальше от металлического экрана, сопротивление $R1$ уменьшится на величину ΔR в то время как сопротивление $R2$ возрастёт на ту же величину ΔR. Таким образом, с учётом выражения (5) получим:

$$\begin{cases} R1 = 2 \cdot R_{max} + \Delta R \\ R2 = 2 \cdot R_{max} - \Delta R \end{cases} \tag{8}$$

С учётом формул (1 и 8) будет справедливо выражение:

$$R_{изм.} = \frac{4 \cdot R_{max}^{\ 2} - \Delta R^2}{4 \cdot R_{max}} \tag{9}$$

После недолгих преобразований выражения (9) получим:

$$\Delta R = 2 \cdot \sqrt{R_{max} \cdot \left(R_{max} - R_{изм.}\right)} \tag{10}$$

Подставляя формулу для определения ΔR в соотношение (8) для значения $R1$ окончательно получим выражение определяющее массив значений $R(l_{полн.})$, используемый в алгоритме рассмотренном ранее:

$$\begin{cases} R(l_{полн.}) = 2 \cdot \left(R_{max} - \sqrt{R_{max} \cdot \left(R_{max} - R_{изм.}\right)}\right) & при\ R(l_{полн.}) \le 2 \cdot R_{max} \\ R(l_{полн.}) = 2 \cdot \left(R_{max} + \sqrt{R_{max} \cdot \left(R_{max} - R_{изм.}\right)}\right) & при\ R(l_{полн.}) > 2 \cdot R_{max} \end{cases} \tag{11}$$

Для получения массива данных об усреднённых геометрических параметрах струи ТАВ, зависящих от $l_{полн.}$, используем формулы аналогичные (7) для угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$:

14

$$a(l_{подш.}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_{изм.i} + \sum_{j=1}^{k} a_{изм.j}}{n+k} \quad (12)$$

Полученный с помощью выражений (11), (12), массив данных, обрабатывается по методике, изложенной в публикациях [6, 7, 8] и используется для определения условий безопасного тушения пожаров класса Е.

Выполнение эксперимента и обработка опытных данных:

а) проверить соответствие метеоусловий условиям проведения экспериментального исследования, для чего провести замера температуры и скорости бокового ветра с помощью цифрового анемометра МЕГЕОН 11002 (рис. 4);

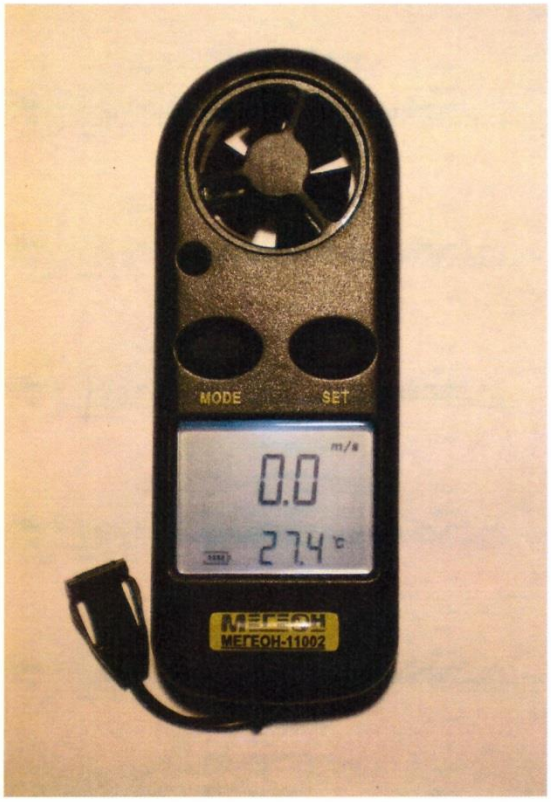


Рисунок 4. Прибор для измерения климатических параметров на месте эксперимента

б) установить АПМ на территории ВУЦ согласно плана (Приложение В) и собрать схема проведения экспериментального исследования и опытно-экспериментального стенда (рис. 3);

в) включить электроснабжение УПТАВ от внешнего источника (электрощитовая Лабораторного корпуса ВУЦ);

г) подготовить УПТАВ для работы в режиме ТАВ 100 с параметрами недогретой воды:

- расход 1,38 *л/с*;
- температура 170 ^{o}C;
- давление на выходе УПТАВ от 3 до 10 *МПа*;

д) на ровной асфальтированной поверхности территории ВУЦ (Приложение В), выполнить расстановку составных частей опытно-экспериментального стенда:

- держателя испытываемого пожарного ствола АПМ (Элемент №1);
- подвижного сетчатого зонда (Элемент №2);
- металлического экрана (Элемент №3);

е) соблюсти расстояния l между Элементами №1 и №3 равное:

- экспериментальное исследование № 1а - 3 м;
- экспериментальное исследование № 1б - 4 м;
- экспериментальное исследование № 2 - 4 м;
- экспериментальное исследование № 3 - 6 м,

а расстояния между Элементами №1 и №2 (первая точка измерения $R_{изм.}$) шаг длины струи $\Delta l_{полн.}$ равное:

- экспериментальное исследование № 1а - 0,2 м;
- экспериментальное исследование № 1б - 0,2 м;
- экспериментальное исследование № 2 - 0,2 м;
- экспериментальное исследование № 3 - 0,3 м,

ж) в электрощите на опытно-экспериментальной установке включить внешнее электропитание 220В 50Гц для работы мегаомметра М4122U и автоматики управления фоторегистратором Nikon D3200Kit 18-140 VR по инфракрасному каналу (ИК) (рис. 5);

16

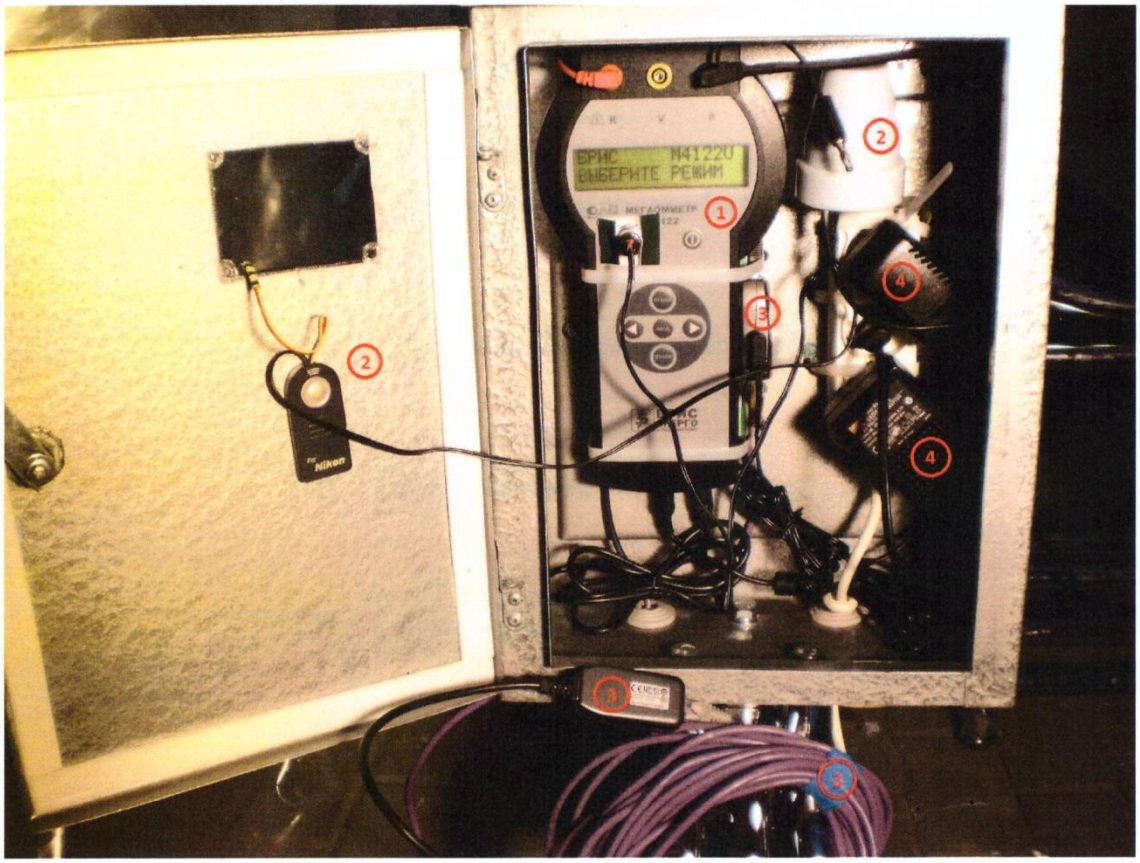


Рисунок 5. Содержимое щита управления Элементом №2:
1- мегаомметр M4122U; 2-модули системы автоматики управления фоторегистратором по ИК каналу; 3-проводная система передачи данных с USB удлинителем «M4122U – ЭВМ»; 4- система электропитания

з) подготовить ноутбук (далее – ЭВМ) для записи параметров сопротивления струй ТАВ в архив компьютерной программы управления мегаомметром M4122U, для этого запустить программу управления M4122U (рис. 6) и установить её в режимы: измерения сопротивления, измерительного напряжения 2500*В*, периодических измерений в количестве 10 раз, архивирования результатов измерений в Excel;

17

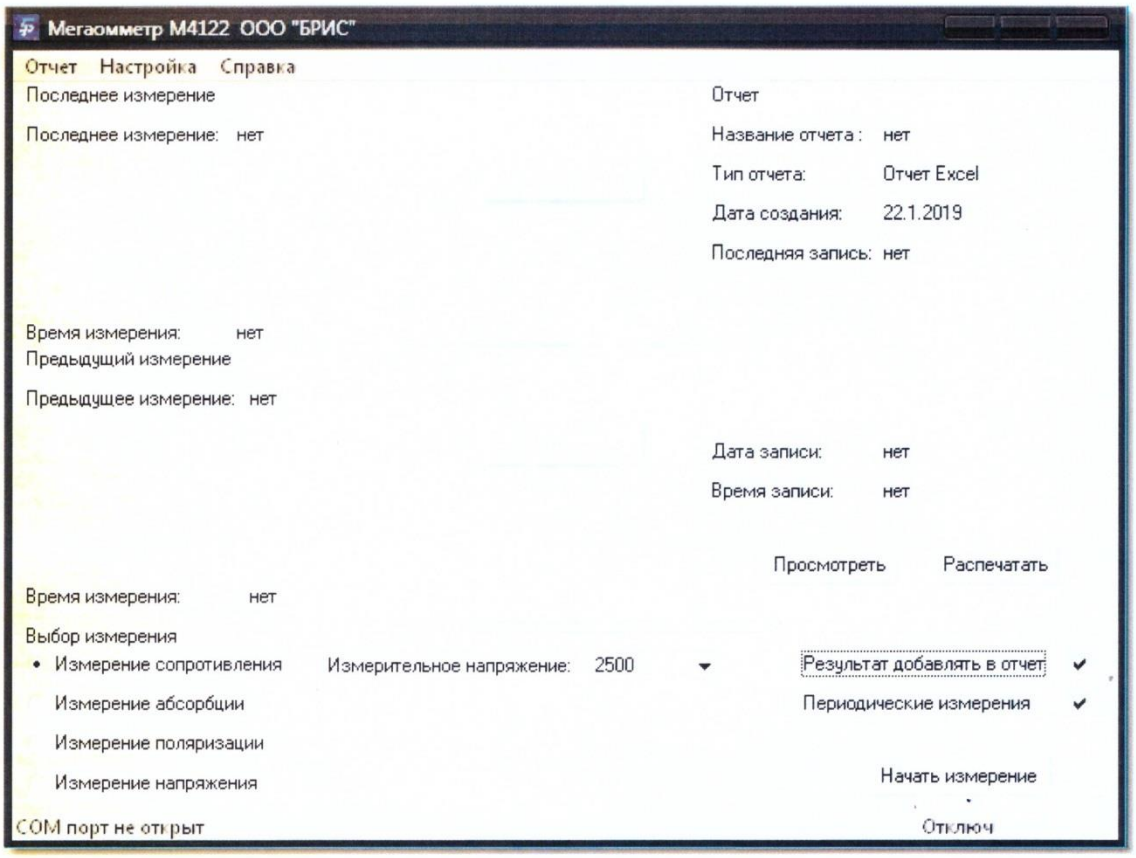


Рисунок 6. Программа управления мегаомметром М4122U

и) подготовить измерительный комплекс ИТ 2518 для работы в режиме индикации в реальном времени расхода *G* исследуемого ствола для подачи ТАВ с помощью турбинного датчика расхода ТДР14 – 2 – 3, для этого:

- включить ТДР14 – 2 – 3 между испытуемым стволом и магистральной рукавной линией высокого давления (рис. 2);

- подключить соленоид преобразователя ТДР14 – 2 – 3, с помощью кабельной линии к измерительному комплексу ИТ 2518;

- включить электропитание измерительного комплекса ИТ 2518 (рис. 7) и в случае появления на верхнем индикаторе ИТ 2518 надписи ***ErrC***, а на нижнем индикаторе цифр ***0001***, ***0002*** или ***0003***, провести настройку даты и времени в программе управления ИТ 2518 (см. Руководство по эксплуатации НКГВ.02.018.00.03);

18

Рисунок 7. Измерительный комплекса ИТ2518 в состоянии готовности к обработке данных поступающих от ТДР14 – 2 – 3

- после корректировки даты и времени ИТ2518, убедиться, что на верхнем индикаторе присутствуют символы - - - -, а на нижнем – номер канала измерения расхода воды ***Ch 9***;

к) проверить исправность и готовность ИТ 2518 к измерению расхода G в реальном времени;

л) установить на штатив, включить и настроить фотоаппарат Nikon D3200Kit 18-140 VR (рис. 8) для управления фоторегистрацией по ИК каналу (см. Руководство по эксплуатации Nikon D3200Kit 18-140 VR);

19

а) б)

Рисунок 8. Оборудование фоторегистрации:

а) фотоаппарат Nikon D3200Kit 18-140 VR; б) фотоаппарат на штативе

м) с целью проверки правильности функционирования приборов и опытно-экспериментальной стенда, провести измерение сопротивления на холостом ходу (без подачи струи ТАВ);

н) подать воду от колонки пожарного гидранта в напорные рукавные линии на:

- автоматическое заполнение ёмкостей АПМ водой;

- прокачку холодной воды через рукавную вставку, для сброса излишков недогретой воды, через всасывающий рукав и гидроэлеватор в канализационный коллектор;

о) включить УПТАВ в режиме подачи ТАВ 100 в магистральную и рабочие рукавные линии высокого давления;

п) с помощью вентиля трёхходового разветвления, по показаниям на индикаторах измерительного комплекса ИТ 2518, отрегулировать подачу недогретой воды к испытываемому стволу (Приложение Б):

- ствол трансформер (сопло – шайба с острой кромкой):

1) в положении для подачи компактной струи (Экспериментальное исследование № 1а) расход G = 0,5 *л/с* (рис. 9 а);

2) в положении для подачи распылённой струи (Экспериментальное исследование № 1б) расход G = 0,5 *л/с* (рис. 9 а);

- ствол пика (сопло Лаваля) (Экспериментальное исследование №2) расход G = 0,5 *л/с* (рис. 9 а);

- ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлинённой выходной частью) (Экспериментальное исследование №3) расход G = 1,0 *л/с* (рис. 9 б);

а) б)

Рисунок 9. Показания индикаторов измерительного комплекса ИТ 2518 при расходе воды:
а) 0,5 л/с; б) 1,0 л/с

р) подать недогретую воду в рукавные линии, после установления стабильных параметров недогретой воды в режиме ТАВ 100, нажать в программе управления мегаомметром М4122U кнопку НАЧАТЬ ИЗМЕРЕНИЕ и провести серию из n замеров $R_{изм.i}$ и k замеров $R_{изм.j}$ в первой точке измерения. Полученные результаты сохранить в отчете Excel. Во второй и последующих точках измерения, перемещать Элемент №2 опытно-экспериментального стенда на удаление $\Delta l_{полн.}$ от Элемента №1, повторяя измерения сопротивлений $R_{изм.i}$ и $R_{изм.j}$ по всей длине струи ТАВ. Повторить опыт со всеми стволам для подачи ТАВ.

с) отключить УПТАВ, произвести необходимое техническое обслуживание;

т) обработать полученные опытные данные, переместив их из памяти ЭВМ в таблицу протокола (приложение А), используя формулы (7) и (11) подсчитать значения сопротивлений $R_{изм.}$ и $R(l_{полн.})$.

у) обработать снимки струй ТАВ с фотоаппарата Nikon D3200Kit 18-140 VR, используя программный продукт iPhotoMEASURE Version 3. Применяя выражение (12), найти и занести в таблицу протокола (приложение А) углы раскрытия струи ТАВ $\alpha_{изм.i}$, $\alpha_{изм.j}$ и усреднённый угол $\alpha(l_{полн.})$.

22

6 ОХРАНА ТРУДА

6.1 При проведении экспериментального исследования, участники обязаны знать и выполнять требования Правил по охране труда [9].

6.2 Руководитель экспериментального исследования обязан организовать инструктаж участников испытаний, направленных для выполнения работ, с разъяснением характера и последовательности работ.

6.3 В местах проведения экспериментального исследования должны быть установлены предупреждающие знаки «Осторожно! Прочие опасности» по ГОСТ 12.4.026 и поясняющая надпись «Идут испытания», а на рабочих местах вывешены инструкции и правила безопасности.

6.4 К управлению и техническому обслуживанию АПМ допускается персонал:

– прошедший медицинское освидетельствование;

– не моложе 21 года, имеющий право на управление автотранспортным средством категории «С», и право на управление пожарным автомобилем;

– изучивший и освоивший все положения Руководства по эксплуатации АПМ (РЭ), Руководств по эксплуатации узлов и агрегатов, которые смонтированы на АПМ, а также нормативных документов, указанных в РЭ;

– обученный «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденных Госэнергонадзором в установленном порядке, не ниже 3-й группы;

– прошедший курс обучения, аттестованный и имеющий удостоверение государственного образца. Обучение оператора паровых и водогрейных котлов проводится в соответствии приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24 декабря 2015 г. № 1129н «Об утверждении профессионального стандарта «Работник по эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, котлов и трубопроводов пара», «Перечнем профессий рабочих, должностей служащих, по которым осуществляется профессиональное обучение», утвержденным приказом Минобрнауки № 513 от 02.07.2013 г., требованиями Единого тарифно-квалификационного справочника

работ и профессий рабочих, общероссийским классификатором профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов.

6.5 К работе с приборами и оборудованием АПМ допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда.

6.6 Участники экспериментального исследования все работы должны производить в боевой одежде и снаряжении.

6.7 Запрещается подавать недогретую воду в рукавные линии до выхода участников экспериментального исследования на исходные позиции.

6.8 При наматывании рукавов на рукавную катушку, необходимо держаться за поручни барабана, не допуская повреждения рук, следить за надежной фиксацией рукавной катушки.

6.9 Не допускать попадания ТАВ на оголенные участки тела на расстоянии менее 0,6 м от ствола.

6.10 Все работы с использованием АПМ и опытно - экспериментального стенда, необходимо выполнять при установленном и подключённом к корпусам, защитном заземлении. Защитное заземление должно быть выполнено согласно «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» применительно к передвижным ЭУ.

6.11 При работе с автомобилем, приборами и оборудованием необходимо соблюдать указания мер безопасности, изложенные в их эксплуатационной документации.

6.12 Запрещается производить работы в АПМ при работающем двигателе без включенного ручного тормоза автомобиля.

6.13 Запрещается производить работы с использованием неисправного автомобиля, инструмента и оборудования.

6.14 Во избежание поражения электрическим током при работе с электрифицированными приборами, инструментами и оборудованием УПТАВ, запрещается прикасаться к любым токоведущим проводам, клеммам, а также к внутренним узлам аппаратурных блоков.

24

7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Система для экспериментального исследования состоит из оборудования, перечень которого приведен в таблице 1.

Такая система, в состав которой входит опытно-экспериментальный стенд (Элементы №№ 1-3), способна измерять в динамике сопротивление струй ТАВ и их геометрические параметры при поступлении недогретой воды от УПТАВ в стволы для подачи ТАВ. Получаемые данные сохраняются в памяти ЭВМ в виде файлов Excel и в фоторегистраторе в виде фотографий струй ТАВ.

Таблица 1

Перечень оборудования для проведения экспериментальных исследований

№ п/п	Марка, наименование	Назначение	Кол-во	Примечание
1. Стандартное оборудование				
1.1	АПМ с УПТАВ	Подача недогретой воды	1 шт.	
1.2	АЦ - 40 - 3,2 (3433)	Для выполнения вспомогательных функций	1 шт.	Насосная система АЦ - 40 - 3,2 в эксперименте не участвует, а используется только пожарно-техническое оборудование (ПТО)
1.3	Катушка с кабелем половинной мощности 50 кВт	Для подачи электроэнергии 380В 50Гц от внешнего источника для работы УПТАВ	1 шт.	Входит в ПТО АПМ
1.4	Магистральные рукавные линии высокого давления	Транспортировка недогретой воды (режим ТАВ 100) к трёхходовому разветвлению	1 шт.	Входит в ПТО АПМ
1.5	Рабочие рукавные линии высокого давления	Транспортировка недогретой воды от трёхходового разветвления	7 шт.	Входят в ПТО АПМ
1.6	Трёхходовое разветвление	распределение и регулировка потока недогретой воды при подаче на расходомер и на сброс излишков воды (2 линии) в двухходовое разветвление	1 шт.	Входит в ПТО АПМ
1.7	Двухходовое разветвление	подача излишков недогретой воды из двух линий в рукавную вставку	1 шт.	Входит в ПТО АПМ

№ п/п	Марка, наименование	Назначение	Кол-во	Примечание
1.8	Рукавная вставка в напорные пожарные рукава d = 77 мм	для смешивания излишков недогретой воды с холодной водой из гидранта	1 шт.	Входит в ПТО АПМ
1.9	Рукавный переходник	для подключение напорных пожарных рукавов низкого давления d = 51 мм к рукавной вставке d = 77 мм	1 шт.	Входит в ПТО АЦ - 40 - 3,2
1.10	Рукава пожарные напорные d = 51 мм	для подключения к пожарной колонке и подачи воды на автоматическое заполнение ёмкостей АПМ и смешивания с излишками недогретой воды в рукавной вставке	6 шт.	Входит в ПТО АЦ - 40 - 3,2
1.11	Пожарная колонка	для подачи холодной воды от гидранта, регулировке напора и распределения потоков	1 шт.	Входит в ПТО АЦ - 40 - 3,2
1.12	Рукава пожарные всасывающие d = 77 мм	для соединения рукавной вставки с гидроэлеватором и транспортировки смеси излишков недогретой и холодной воды в канализационный коллектор	2 шт.	Входит в ПТО АЦ - 40 - 3,2
1.13	Гидроэлеватор	для утяжеления конца всасывающего рукава d = 77 мм при опускании его в канализационный люк	1 шт.	Входит в ПТО АЦ - 40 - 3,2
1.14	Расходомер турбинный ТДР14 – 2 – 3	Для снятия параметров расхода G недогретой воды подаваемой в испытуемый ствол	1 шт.	Входит в состав измерительного комплекса ИТ2518
1.15	Измерительный комплекс ИТ2518	Для регулировки и индикации в реальном времени расхода G недогретой воды подаваемой в испытуемый ствол	1 шт.	Работает без подключения к ЭВМ
1.16	Кабель соединительный	Для соединения ИТ2518 с ТДР14 – 2 – 3	1 шт.	Входит в состав измерительного комплекса ИТ2518
1.17	Ствол трансформер (сопло – шайба с острой кромкой)	Для формирования струи ТАВ	1 шт.	Входит в ПТО АПМ
1.18	Ствол пика (сопло Лаваля)	Для формирования струи ТАВ	1 шт.	Входит в ПТО АПМ
1.19	Ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлинённой	Для формирования струи ТАВ	1 шт.	Входит в ПТО АПМ

№ п/п	Марка, наименование	Назначение	Кол-во	Примечание
	выходной частью)			
1.20	Элемент №1 экспериментальной установки	Для закрепления и настройки в рабочее положение испытуемого ствола	1 шт.	Является неотъемлемой частью опытно-экспериментальной установки по определению сопротивления струй ТАВ
1.21	Элемент №2 экспериментальной установки	Для измерения сопротивления струи ТАВ при перемещении вдоль её главной оси	1 шт.	Является неотъемлемой частью опытно-экспериментальной установки по определению сопротивления струй ТАВ. В комплект входит мегаомметр
1.22	Элемент №3 экспериментальной установки	Для имитации заземлённого корпуса ЭУ	1 шт.	Является неотъемлемой частью опытно-экспериментальной установки по определению сопротивления струй ТАВ
1.23	Дымосос с рукавом и насадком	Для создания подпора воздуха вдоль струи ТАВ	1 шт.	Является частью конструкции Элемента № 1
1.24	Фотоаппарат Nikon D3200Kit 18-140 VR на штативе	Для фотофиксации геометрических параметров струй ТАВ в моменты измерения сопротивления	1 шт.	Является неотъемлемой частью опытно-экспериментальной установки по определению сопротивления струй ТАВ
1.25	Ноутбук Lenovo	Для управления мегаомметром M4122U и фотоаппаратом по ИК каналу, а так же фиксации результатов измерения сопротивления	1 шт.	Устанавливается программное обеспечение для управления M4122U, а так же Microsoft Office (приложение Excel) и iPhotoMEASURE Version 3 для создания отчётов об измерении сопротивления и

№ п/п	Марка, наименование	Назначение	Кол-во	Примечание
				геометрических параметров струй ТАВ
1.26	Катушка с кабелем	Для подключения к электрощиту АПМ и подачи электроэнергии 220В 50Гц для электропитания приборов	1 шт.	Длина кабеля катушки 50 метров. Количество розеток 4 шт.
1.27	Цифровой анемометр МЕГЕОН 11002	Для измерения температуры воздуха и скорости ветра на месте проведения эксперимента	1 шт.	Анемометр входит в состав метеокомплекта МК – 3 Бриз
1.28	Видеокамера цифровая	Для видеофиксации эксперимента	2 шт.	Цифровые видеокамеры любых марок
1.29	Хронометры (часы и секундомер)	Для фиксации времени эксперимента и синхронизации приборов	2 шт.	
1.30	Устройство защитного заземления (УЗЗ)	Для обеспечения электробезопасности (ЭБ) и режима измерения сопротивления	1 шт.	УЗЗ подключается к корпусу АПМ, Элементам №№1-3 и корпусам всех электроприборов
1.31	Боевая одежда и снаряжение	Для обеспечения безопасной работы	10 комплектов	
1.32	Электрозашитные средства	Для обеспечения ЭБ	3 комплекта	В комплект ЭБ входят диэлектрические резиновые перчатки и боты
1.33	Электромегафон	Для обеспечения управления посредством громкой связи	1 шт.	
2. Расходные материалы				
2.1	Горючесмазочные материалы	Для работы УПТАВ	1461,78 л	Дизельное топливо согласно расчёта (Приложение Д)
2.2	Вода из гидранта	Для пополнения ёмкостей АПМ в процессе работы УПТАВ и смешивания с излишками недогретой воды	39744 л	согласно расчёта (Приложение Д)
2.3	Электроэнергия от внешнего источника	Для работы насосов и систем автоматики УПТАВ, приборов опытно-экспериментального стенда и ЭВМ	480 кВт*ч	согласно расчёта (Приложение Д)
2.3	Набор слесарного инструмента	Для вспомогательного назначения	1 комплект	

8 МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

При измерительном контроле использовать метрологически аттестованные средства измерения, перечень и точность которых указаны в таблице 2.

Таблица 2

Средства измерения

№ п/п	Наименование средства измерения	Назначение	Предел допустимой основной погрешности
1	Мегаомметр	Измерение сопротивления постоянному току	±3 %
2	Анемометр	Измерение климатических параметров	±0,5%
3	Рулетка	Измерение длины струи ТАВ	±3,15%
4	Расходомер	Для контроля расхода недогретой воды на входе в испытуемый ствол	±2%
5	Измеритель	Для регистрации и индикации параметров недогретой воды на входе в испытуемый ствол	±0,25%
6	ЭВМ	Для управления мегаомметром, фоторегистратором, определения сопротивления струй ТАВ и сохранения данных	-

9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты экспериментального исследования сопротивления постоянному току струй ТАВ оформляются актом и протоколом проведения эксперимента (Приложение А), в которые заносятся параметры, полученные в процессе измерений. Акт и протокол экспериментального исследования подписывается комиссией, утвержденной приказом заинтересованной организации.

Разработал:

Преподаватель отделения специальных дисциплин
ФАУ ДПО «Волгодонский учебный центр ФПС»

Чистяков Т.И.

«10» апреля 2019 г.

10 СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безбородько, М. Д. Пожарная и аварийно-спасательная техника [Текст]: учебник: в 2 ч. П46 Ч. 2 / М. Д. Безбородько, С. Г. Цариченко, В. В. Роенко и др.; под ред. М. Д. Безбородько. (с 221 – 228 – Роенко, 228 – 239 – Храмцов).

2. Руководство по эксплуатации Автомобиль пожарный многоцелевой АПМ 3-2/40-1,38/100 (43118) мод. ПиРо 3 (4) – МПЗ, М:, Академия ГПС МЧС России, ООО «Аква – Пиро – Альянс», ОАО «МПЗ», 2013.

3. Летников, Ф. А. Активированная вода [Текст] / Ф. А. Летников, Т. В. Кащеева, А. Ш. Минцис. – Новосибирск: Наука, 1976.

4. Чистяков, Т. И. Конструкция, функционирование и аспекты применения автомобиля пожарного многоцелевого [Текст]: учеб. пособие / Т. И. Чистяков, С. П. Храмцов, А. В. Пряничников и др.; под общ. ред. В. В. Бачкала. – Волгодонск: Волгодонский учебный центр ФПС МЧС России, 2015. – 203 с.

5. Храмцов, С. П. «Технические средства подачи температурно-активированной воды теплоэнергетической установкой для тушения пожаров на объектах энергетики» [Текст] : дис. … канд. техн. наук 05.26.03 / Храмцов Сергей Петрович, Академия ГПС МЧС России. – М., 2011. – 239 с.

6. Чистяков, Т.И. Применение теории цепей при анализе процессов тушения электроустановок под напряжением на объектах энергетики // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. - № 4. – С. 13–21

7. Чистяков, Т. И. Влияние геометрических параметров струй температурно-активированной воды на комплексное сопротивление при тушении пожаров класса Е // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 2. – С. 12–21.

8. Чистяков, Т.И. Влияние электроперколяционных параметров струй температурно-активированной воды на их комплексное сопротивление при тушении пожаров класса Е// Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – №1. – С.12 – 21.

9. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 23 декабря 2014 г. N 1100н "Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы".

Приложение А

Формы Акта и протокола проведения экспериментального исследования

АКТ № _____

по результатам проведения экспериментального исследования

«____»_____ 2019 г. _____
(дата составления) (время и место составления)

_____
(фамилии, имена, отчества

_____
должности лиц, проводивших испытания)

_____

_____

_____

в период с «____»_____2019 г. по «____»_____2019 г. по адресу: _____
(место проведения испытания)

Проведены экспериментальные исследования сопротивления постоянному току и геометрических параметров струй температурно-активированной воды с участием:

_____
(должностных лиц присутствующих при проведении испытаний)

_____

_____

_____

В ходе экспериментального исследования установлено:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

К акту прилагаются:

1. Протокол проведения экспериментального исследования

_____

2.Фотографии _____

3. Другие документы или копии _____

Испытания провели:

Присутствовали: М.П.

«__»_____2019 г.

34

продолжение приложения А

ПРОТОКОЛ № _____

проведения экспериментального исследования

«____»_____ 2019 г. _____
(дата составления) (время и место составления)

_____
(фамилии, имена, отчества

_____
должности лиц, проводивших испытания)

_____

_____

_____

к Акту от «____»_____2019 г. № ____

по результатам проведения экспериментального исследования в период с «____»_____2019 г. по «____»_____2019 г. по адресу:

_____
(место проведения испытания)

Ход экспериментального исследования:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

продолжение приложения А

Таблица А.1

Результаты измерений и вычислений

Экспериментальное исследование №_____

Тип пожарного ствола для подачи ТАВ_____

Режим УПТАВ_____

Расход пожарного ствола для подачи ТАВ *G*, л/с_____

Температура недогретой воды на выходе из УПТАВ, ^{o}С_____

Расстояние от пожарного ствола для подачи ТАВ до металлического экрана *l*, м_____

Шаг длины струи $\Delta l_{полн.}$, м_____

Максимальное значение сопротивления, измеренное мегаомметром R_{max}, ГОм_____

Измерение №_____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, *м*										
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, *ГОм*										
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, *ГОм*										
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, *ГОм*										
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, *ГОм*										
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ										
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ										
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, *град*										
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, *град*										
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, *град*										

Экспериментальное исследование провели:

Присутствовали: М.П.

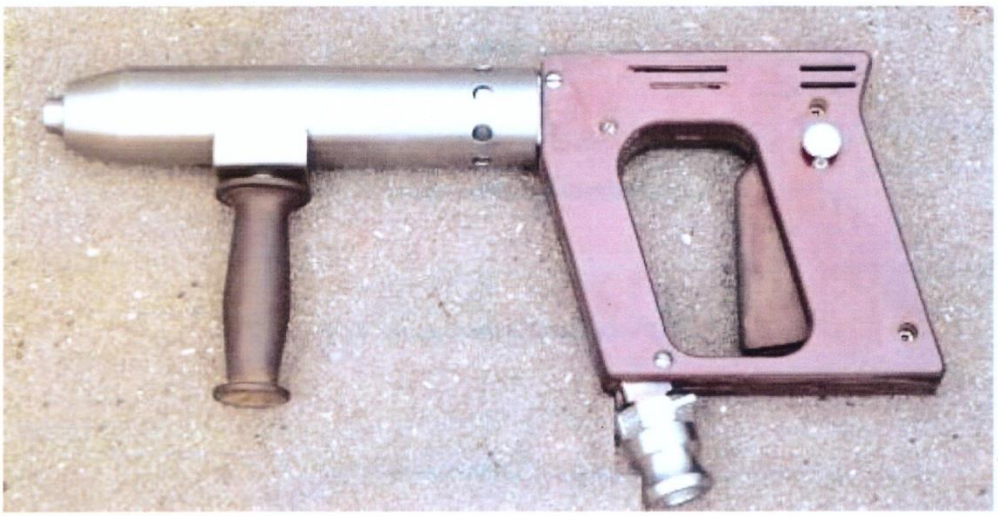
«__»_____2019 г.

Приложение Б

Образцы исследуемых стволов для подачи ТАВ

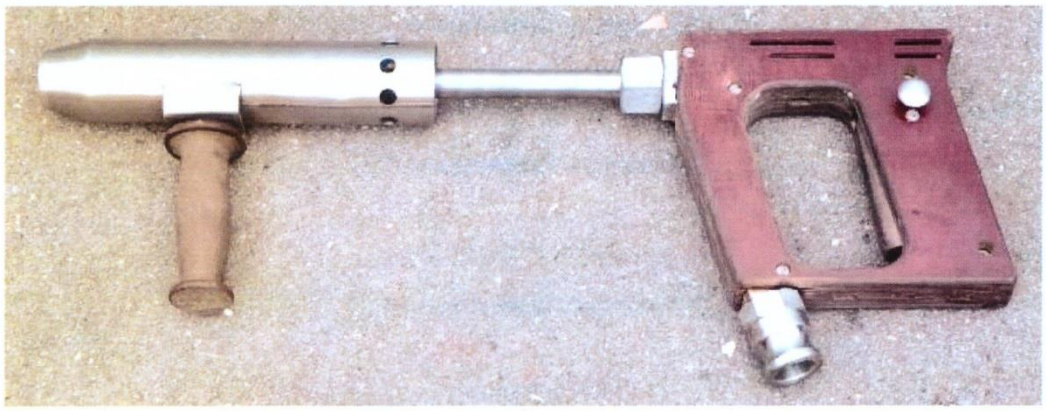
а)

б)



в)

35



г)

Рисунок Б.1. Стволы для подачи ТАВ:
а) дальнобойный ствол для рабочей рукавной линии (сопло - Лаваля с удлинённой проточной частью, расход недогретой воды *G*=1,0 *л/с*; б) ствол пика (сопло - Лаваля), расход недогретой воды *G*=0,5 *л/с*; в) ствол-трансформер в положении с максимальным раскрытием струи (сопло - шайба с острой кромкой), расход недогретой воды *G*=0,5 *л/с*; г) ствол-трансформер в положении для подачи недогретой воды с максимальной длиной струи(сопло - шайба с острой кромкой), расход недогретой воды *G*=0,5 *л/с*.

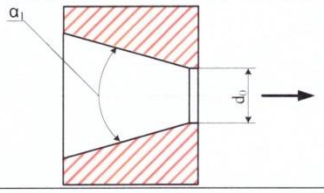
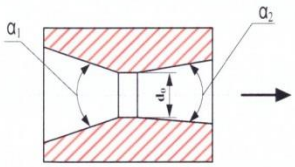
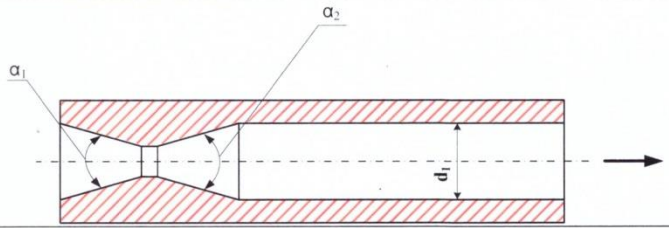
1. Ствол с шайбой с острой кромкой	**2. Ствол с соплом Лаваля**
	
где α_1- угол расточки канала; d_0 – диаметр канала. При этом $\alpha_1 \geq 150^\circ$	где α_1- угол расточки суживающейся части; α_2 – угол расширяющейся части; d_0 – диаметр сопла. При этом должно соблюдаться следующее условие: $\alpha_1 > \alpha_2$
3. Дальнобойный ствол	
	
где α_1- угол расточки суживающейся части; α_2 – угол расширяющейся части; d_0 – диаметр сопла. d_1 – диаметр канала. При этом должны соблюдаться следующее условия: $\alpha_1 \approx 60^\circ$; $\alpha_2 \approx 8\text{-}12^\circ$; $d_1 = 10\ d_0$	

Рисунок Б.2 Особенности конструкции стволов-распылителей для подачи недогретой воды.

Приложение В

Место проведения экспериментального исследования

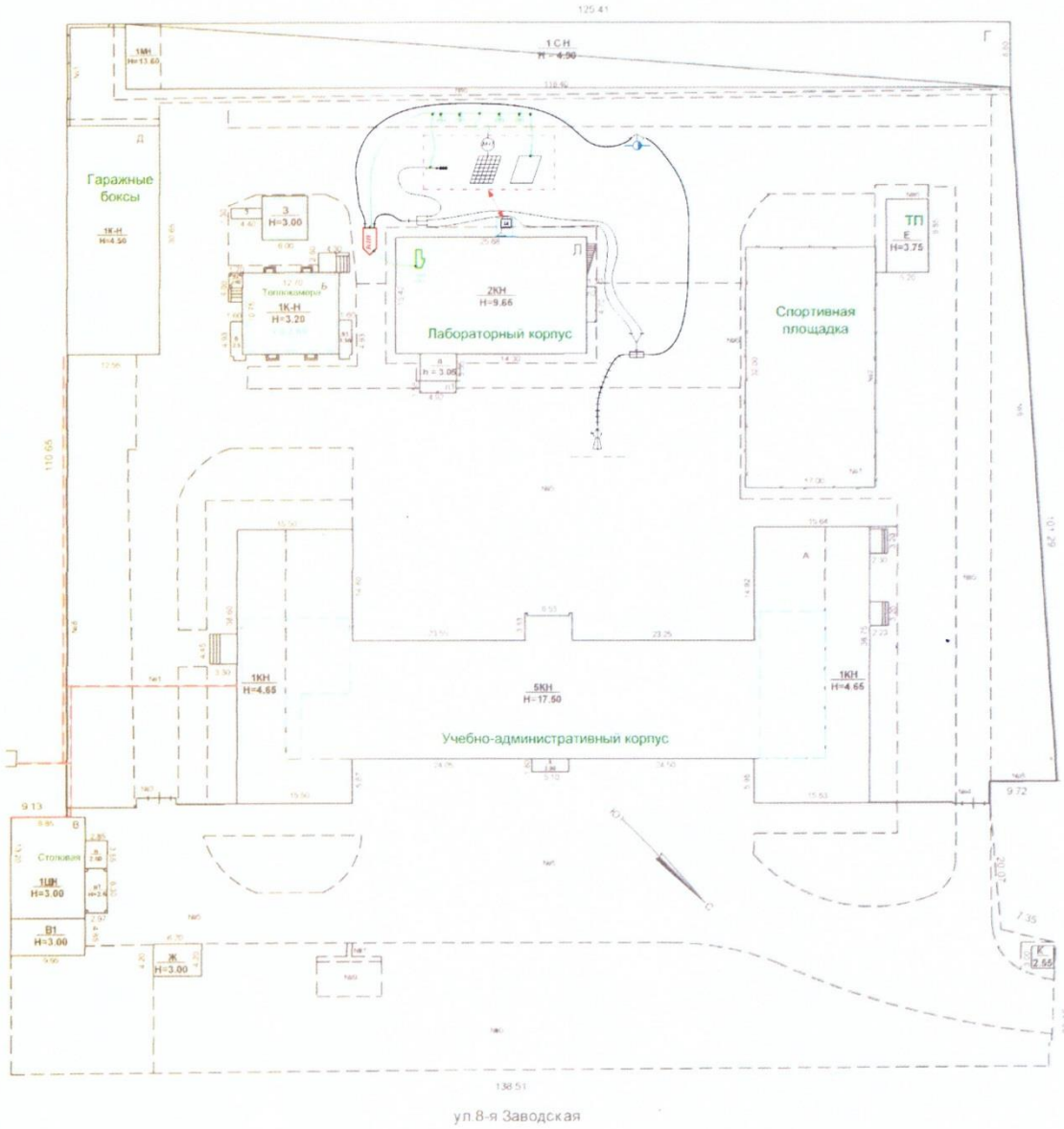
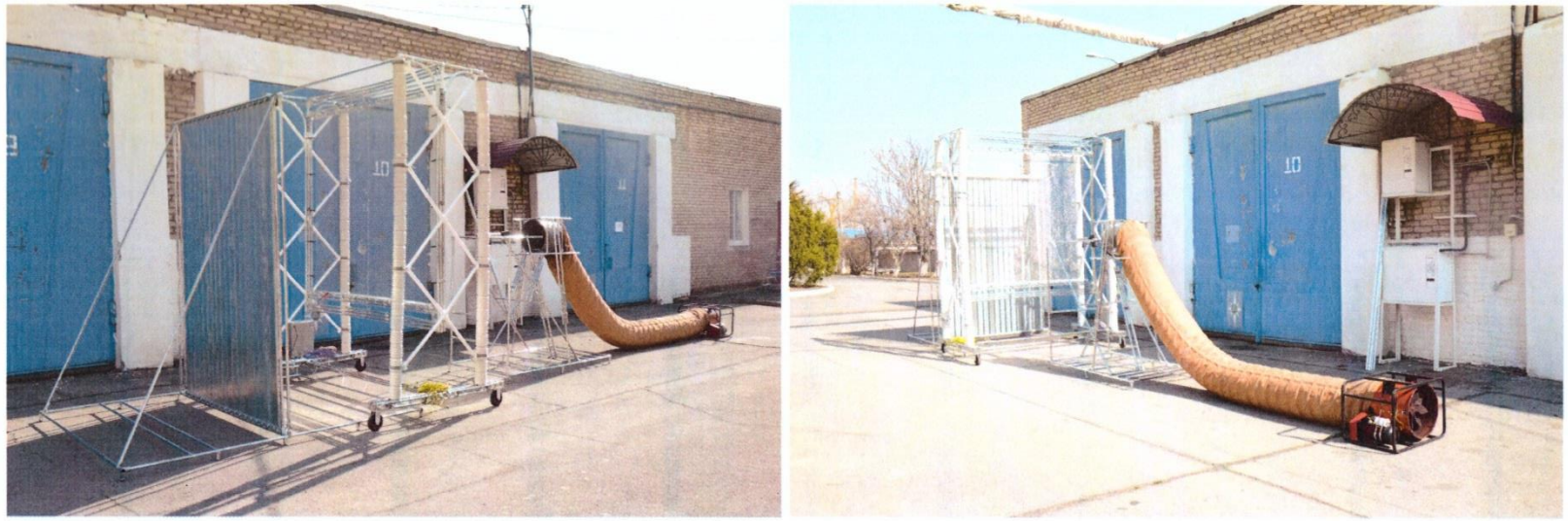


Рисунок В.1 Место проведения экспериментального исследования на территории ФАУ ДПО "Волгодонский учебный центр ФПС" Ростовская область, г.Волгодонск, ул. 8-я Заводская 7.

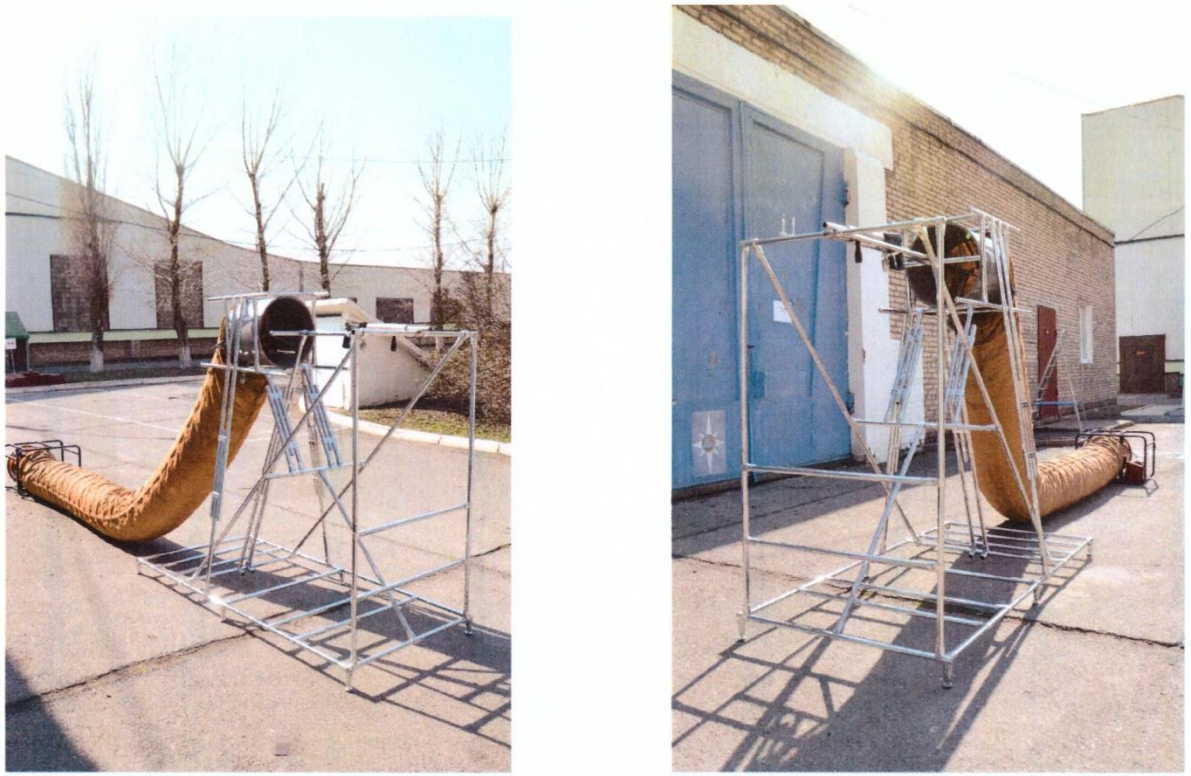
Приложение Г

Опытно-экспериментальный стенд



а) б)

Рисунок Г.1 Общий вид опытно-экспериментального стенда для определения сопротивления постоянному току струй ТАВ:
а) вид справа; б) вид слева.



а) б)

Рисунок Г.2 Держателя испытываемого ствола для подачи ТАВ (Элемент №1):
а) вид слева спереди; б) вид справа сбоку.

а)

б)

Рисунок Г.3 Подвижный сетчатый зонд (Элемент №2):

а) вид сбоку; б) вид слева сбоку.

а) б)

Рисунок Г.4 Металлический экран (Элемент №3):

а) вид сбоку сзади; б) вид сбоку спереди.

Приложение Д

Расчёт расходных материалов (потребления дизельного топлива, электрической энергии и воды на работу УПТАВ)

Начальные условия:

1. Расход воды $G = 1{,}38$ *л/с*;
2. Температура воды на входе в УПТАВ $t_1 = 5\ ^oC$;
2. Температура воды на выходе из УПТАВ $t_2 = 190\ ^oC$;
3. Плотность[2] горячей воды при $t_2 = 190\ ^oC$ равна $R = 876$ *кг/м*^{3};
4. Теплоёмкость[3] воды при давлении $P = 100$ *бар* и температуре $t = 180\ ^oC$ равна $v_1 = 4370$ *Дж/(кг*^oC)*;
5. Теплоёмкость воды при давлении $P = 100$ *бар* и температуре $t = 200\ ^oC$ равна $v_2 = 4450$ *Дж/(кг*^oC)*;
6. Количество исследуемых стволов $n = 4$ типа;
7. Общая длина исследуемой струи $l = 3 \div 6$ *м*;
8. Расстояние между точками измерения $\Delta l = 0{,}2 \div 0{,}3$ *м*;
9. Время одного измерения сопротивления мегаомметром $T_{изм.} = 10$ *с*;
10. Время подготовительных операций при работающей УПТАВ $T_п = 3200$ *с*;
11. Коэффициент полезного действия УПТАВ *КПД* = 45%;
12. Теплотворная способность[4] дизельного топлива $W = 43{,}12$ МДж/л.
13. Мощность электроагрегатов и электрооборудования УПТАВ $J_{УПТАВ} = 60$ *кВт*

Найдём теплоёмкость v воды при давлении $P = 100$ *бар* и температуре $t = 190\ ^oC$ по формуле:

$$v = (v_1 + v_2)/2$$

Получим: $v = (4370+4450)/2 = 4410$ *Дж/(кг*^oC)*

---

[2] Интернет ресурс http://thermalinfo.ru/svojstva-zhidkostej/voda-i-rastvory/teploprovodnost-i-plotnost-vody-teplofizicheskie-svojstva-vody-h2o

[3] Интернет ресурс http://thermalinfo.ru/svojstva-zhidkostej/voda-i-rastvory/udelnaya-teploemkost-vody

[4] Интернет ресурс https://a-invest.com.ua/aktualno/tablitsa-teplotvornosti

Найдём массу 1*л* воды при давлении $P = 100$ *бар* и температуре $t = 190\ ^oC$ по формуле:

$$m = R*\mathrm{V}$$

Получим: $\mathrm{m} = 876*0{,}001 = 0{,}876$ *кг*

Найдём количество тепловой энергии Q необходимой для нагрева 1 *л* воды температурой $t_1 = 5\ ^oC$ при давлении $P = 100$ *бар* до температуры $t_2 = 190\ ^oC$ при работе УПТАВ по формуле:

$$Q_1 = m*v*(t_2 - t_1)$$

Получим: $Q_1 = 0{,}876*4410*(190 - 5) = 713684{,}6 = 0{,}715$ *МДж*

Согласно Руководства по эксплуатации мегаомметра М4122U, прибор осуществляет одно измерение в течении $T_{изм} = 10$ *с*. Для усреднения результатов измерения, количество замеров в одной точке k должно быть не менее 20-и. При промеряемой длине струи $l = 6$ *м* и расстояние между точками измерения $\Delta l = 0{,}3$ *м*, количество точек измерения N найдём по формуле:

$$N = l/\Delta l$$

Получим: $N = 6/0{,}3 = 20$

Всего количество замеров I для исследования четырёх стволов найдём по формуле:

$$I = k*N*n$$

Получим: $I = 20*20*4 = 1600$

Найдём время работы УПТАВ $T_{УПТАВ}$ необходимое на исследование четырёх стволов по формуле:

$$T_{УПТАВ} = T_{П}*n+T_{изм.}*I$$

Получим: $T_{УПТАВ} = 3200*4+10*1600 = 28800\ с = 8\ ч$

Таким образом, на исследование струи одного ствола тратится время 2 часа, а на 4 ствола 8 часов работы УПТАВ.

Найдём объём воды V перекачиваемый насосом высокого давления установки пожаротушения ТАВ по формуле:

$$V = T_{УПТАВ}* G$$

Получим: $V = 28800*1,38 = 39744\ л$

Найдём количество тепловой энергии необходимой на нагрев воды объёмом V = 39744 *л* по формуле:

$$Q_{общ.} = Q_{1}*V$$

Получим: $Q_{общ.} = 0,715*39744 = 28416,96\ МДж$

Найдём количество тепловой энергии получаемой от сгорания дизельного топлива с учётом *КПД* УПТАВ по формуле:

$$Q_{диз.} = Q_{общ.}/ КПД$$

Получим: $Q_{диз.} = 28416,96/0,45 = 63148,8\ МДж$

Найдём объём дизельного топлива $V_{диз.}$ для работы УПТАВ в течении 8 часов с учётом его теплотворной способности, по формуле:

$$V_{диз.} = Q_{диз.}/ W$$

Получим: $V_{диз.} = 63148,8/43,12 = 1461,78\ л$

Количество потреблённой электрической энергии найдём по формуле:

$$Q_{эл.эн.} = J_{УПТАВ} * T_{УПТАВ}$$

Получим: $Q_{эл.эн.} = 60*8 = 480\ кВт*ч$

Рассчитал:

Преподаватель отделения специальных дисциплин
ФАУ ДПО «Волгодонский учебный центр ФПС»

Чистяков Т.И.

«16» апреля 2019 г.

Приложение Б

(обязательное)

ФОТОГРАФИИ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА, ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

а

б

в

г

д

е

Рисунок Б1 — Общий вид опытно-экспериментального стенда для исследования сопротивления постоянному току и угла раскрытия струй температурно-активированной воды при их подаче из пожарных стволов АПМ:
а — вид сбоку слева; *б* — вид сбоку справа; *в* — вид сбоку;
г — вид спереди слева; *д* — вид сзади слева; *е* — вид спереди справа

а

б

в

г

Рисунок Б2 — Держатель испытываемого ствола для подачи температурно-активированной воды с вентилятором подпора воздуха (Элемент № 1):
а — вид спереди слева; *б* — вид спереди справа; *в* — вид сбоку; *г* — вид сбоку справа

а

б

в

г

Рисунок Б3 — Подвижный сетчатый зонд (Элемент № 2):
а — вид сзади справа; *б* — вид сзади слева; *в* — вид спереди справа; *г* — вид сзади

а

б

в

г

Рисунок Б4 — Металлический экран (Элемент № 3):
а — вид спереди справа; *б* — вид спереди слева; *в* — вид сзади справа; *г* — вид сзади слева

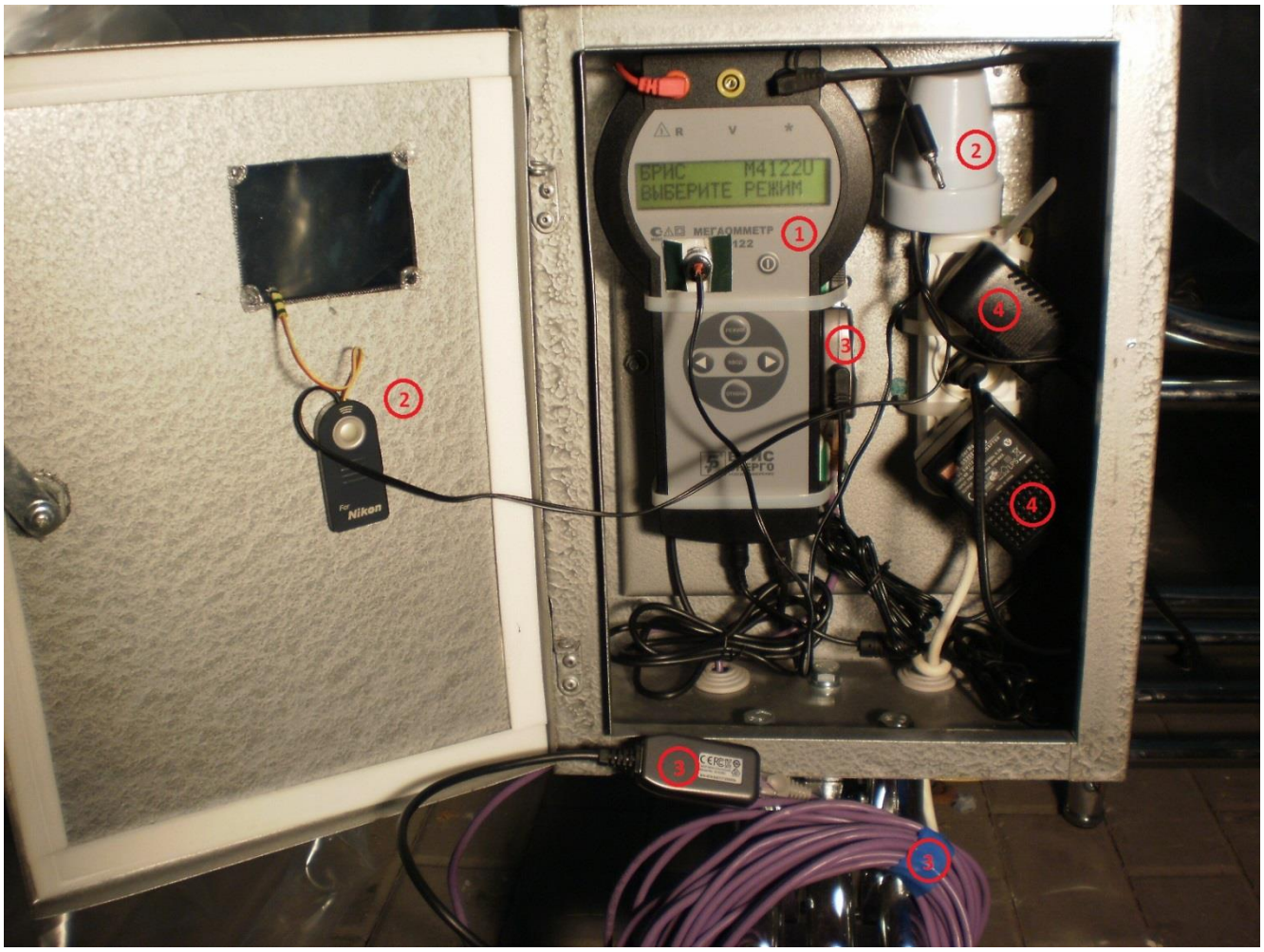


Рисунок Б5 — Содержимое щита управления Элементом № 2:
а — мегаомметр M4122U;
б — модули системы автоматики управления фоторегистратором по ИК-каналу;
в — проводная система передачи данных с USB-удлинителем;
г — система электропитания

а

б

Рисунок Б6 (начало) — Состав оборудования измерительного комплекса:
а — измеритель с прибором ИТ2518; *б* — кабель связи

в

Рисунок Б6 (окончание) — Состав оборудования измерительного комплекса:
в — турбинный датчик расхода ТДР14-2-3

а *б*

Рисунок Б7 — Оборудование фоторегистрации:
а — фотоаппарат Nikon D3200Kit 18-140 VR; *б* — фотоаппарат на штативе

а

б

в

г

д

е

Рисунок Б8 — Проведение экспериментального исследования струи температурно-активированной воды, подаваемой из ствола дальнобойного:
а — вид спереди; *б* — вид спереди справа; *в* — рабочее место с ЭВМ;
г — вид сзади слева; *д* — перемещение сетчатого зонда (вид слева);
е — перемещение сетчатого зонда (вид справа)

Приложение В

(обязательное)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ И УГЛА РАСКРЫТИЯ СТРУЙ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ПРИ ИХ ПОДАЧЕ ИЗ ПОЖАРНЫХ СТВОЛОВ АВТОМОБИЛЯ ПОЖАРНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО

АКТ № *1*

по результатам проведения экспериментального исследования

«*21*» *июня 2019 г.* (дата составления) *10.00 ч. ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС* (время и место составления)

в соответствии с *«Программой и методикой экспериментального исследования сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого»*

с «*19*» *апреля 2019 г.* по «24» *апреля 2019 г.* по адресу:

Ростовская область, г. Волгодонск, ул. 8-я Заводская, дом 7, Федеральное автономное учреждение дополнительного профессионального образования «Волгодонский учебный центр федеральной противопожарной службы»

(место проведения испытания)

Проведены экспериментальные исследования сопротивления постоянному току и геометрических параметров струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого с участием:

Заместителя начальника отдела – начальника отделения планирования организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России, подполковника внутренней службы Кармес Алексей Петрович

Заместителя начальника учебного центра (по учебной работе) – начальника отдела ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Черевиченко Роман Александрович

Преподавателя отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Чистяков Тимур Игоревич

Преподавателя отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Храмцов Алексей Дмитриевич

Преподавателя отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Дводненко Евгений Сергеевич

Заведующего кабинетом отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Музыченко Сергей Николаевич

(фамилии, имена, отчества должности лиц, проводивших испытания)

В ходе экспериментального исследования установлено:

Экспериментальное исследование прошло в соответствии с «Программой и методикой экспериментального исследования сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого». Отклонений и нарушений не допущено.

Полученные экспериментальные данные по определению электрического сопротивления постоянному току и геометрических параметров струй температурно-активированной воды пригодны для дальнейшей обработки и анализа. Результаты экспериментов должны использоваться в исследованиях возможности безопасного и эффективного применения струй температурно-активированной воды, и технических средств их получения для тушения пожаров класса Е.

К акту прилагаются:

1. Протоколы проведения экспериментального исследования:
№№ 1а; 1 б; 2; 3 с приложением на 71 листе (142 страницы)
2. Фотографии:
струй ТАВ в количестве 1323 штук
3. Компьютерные файлы:
Excel в количестве 1445 штук
4. Другие документы или копии:
Материалы фото и видео съёмки экспериментального исследования

Экспериментальные исследования провели:

_____А.П. Кармес _____Т.И. Чистяков

_____А.Д. Храмцов _____Е.С. Дводненко

Присутствовали:

_____Р.А. Черевиченко _____С.Н. Музыченко

ПРОТОКОЛ № *1 а*

проведения экспериментального исследования

«*21*» *июня 2019 г.* *10.00 ч. ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС*
(дата составления) (время и место составления)

Заместитель начальника отдела – начальник отделения планирования организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России,
подполковник внутренней службы Кармес Алексей Петрович
Заместитель начальника учебного центра (по учебной работе) – начальник отдела ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Черевиченко Роман Александрович
Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Чистяков Тимур Игоревич
Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Храмцов Алексей Дмитриевич
Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Дводненко Евгений Сергеевич
Заведующий кабинетом отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Музыченко Сергей Николаевич

(фамилии, имена, отчества должности лиц, проводивших испытания)

к Акту от «*21*» *июня 2019 г.* № *1*

по результатам проведения экспериментального исследования в период с «*19*» *апреля 2019 г.* по «24» *апреля 2019 г.* по адресу:

Ростовская область, г. Волгодонск, ул. 8-я Заводская, дом 7, Федеральное автономное учреждение дополнительного профессионального образования «Волгодонский учебный центр федеральной противопожарной службы»

(место проведения испытания)

Ход экспериментального исследования:

В соответствии с «Программой и методикой экспериментального исследования сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого», 23.04.2019 г. в период времени с 16 часов 20 минут по 17 часов 40 минут, на территории ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС проведены экспериментальные исследования сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарного ствола трансформера (сопло – шайба с острой кромкой) в положении для подачи компактной струи (испытание № 1а). Экспериментальное исследование проведено при температуре окружающего воздуха 16 - 20 °С и скорости ветра 1 - 3 м/с. Режим работы УПТАВ автомобиля пожарного многоцелевого ТАВ 100.

Результаты измерений и вычислений прилагаются к настоящему протоколу на 14 (четырнадцати) листах (28 страницах).

Экспериментальные исследования провели:

_____ А.П. Кармес

_____ Т.И. Чистяков

_____ А.Д. Храмцов

_____ Е.С. Дводненко

Присутствовали:

_____ Р.А. Черевиченко

_____ С.Н. Музыченко

Результаты измерений и вычислений

Экспериментальное исследование № *1а*

Тип пожарного ствола для подачи ТАВ *Ствол трансформер в положении для подачи компактной струи*

Режим УПТАВ *ТАВ 100*

Расход пожарного ствола для подачи ТАВ G, л/с *0,5*

Температура недогретой воды на выходе из УПТАВ, °С *175*

Расстояние от пожарного ствола для подачи ТАВ до металлического экрана l, м *3,0*

Шаг длины струи $\Delta l_{полн.}$, м *0,2*

Максимальное значение сопротивления, измеренное мегаомметром R_{max}, ГОм *4,84*

Измерение № *1*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*0,2*									
Значения индексов i и j	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*0,862*	*0,867*	*0,846*	*0,841*	*0,843*	*0,828*	*0,834*	*0,811*	*0,785*	*0,762*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*1,65*	*1,58*	*1,61*	*1,61*	*1,63*	*1,6*	*1,55*	*1,48*	*1,63*	*1,54*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*1,21*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*1,3*									
Имя файла i фотоснимка струи ТАВ	DSC_8687	DSC_8688	DSC_8689	DSC_8690	DSC_8691	DSC_8692	DSC_8693	DSC_8694	DSC_8695	DSC_8696
Имя файла j фотоснимка струи ТАВ	DSC_8697	DSC_8698	DSC_8699	DSC_8700	DSC_8701	DSC_8702	DSC_8703	DSC_8704	DSC_8705	DSC_8706
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*12,88*	*13,46*	*16,05*	*15,26*	*15,24*	*16,19*	*15,38*	*12,30*	*15,03*	*17,31*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*15,31*	*16,04*	*13,49*	*15,1*	*14,28*	*15,11*	*14,11*	*17,01*	*14,28*	*14,68*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*15,08*									

Измерение № *2*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*0,4*									
Значения индексов i и j	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*2,47*	*2,51*	*2,42*	*2,48*	*2,52*	*2,43*	*2,51*	*2,48*	*2,45*	*2,47*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*1,61*	*1,66*	*1,45*	*1,68*	*1,5*	*1,66*	*1,55*	*1,66*	*1,54*	*1,6*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*2,03*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*2,3*									
Имя файла i фотоснимка струи ТАВ	DSC_8707	DSC_8708	DSC_8709	DSC_8710	DSC_8711	DSC_8712	DSC_8713	DSC_8714	DSC_8715	DSC_8716
Имя файла j фотоснимка струи ТАВ	DSC_8717	DSC_8718	DSC_8719	DSC_8720	DSC_8721	DSC_8722	DSC_8723	DSC_8724	DSC_8725	DSC_8726
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*13,18*	*15,67*	*15,97*	*16,76*	*14,88*	*15,34*	*15,28*	*13,33*	*15,51*	*13,8*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*16,37*	*16,82*	*17,48*	*16,32*	*17,48*	*13,36*	*17,61*	*14,18*	*13,71*	*13,99*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*14,65*									

Измерение № 3

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*0,6*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*2,35*	*2,34*	*2,2*	*2,28*	*2,16*	*2,16*	*2,2*	*2,2*	*2,28*	*2,26*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*3,2*	*3,15*	*3,17*	*3,13*	*3,17*	*3,07*	*3,13*	*3,18*	*3,07*	*3,11*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*2,69*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*3,23*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8727	DSC_8728	DSC_8729	DSC_8730	DSC_8731	DSC_8732	DSC_8733	DSC_8734	DSC_8735	DSC_8736
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8737	DSC_8738	DSC_8739	DSC_8740	DSC_8741	DSC_8742	DSC_8743	DSC_8744	DSC_8745	DSC_8746
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*12,69*	*16,64*	*14,74*	*14,87*	*15,97*	*16,43*	*14,90*	*15,71*	*17,0*	*14,12*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*16,47*	*14,71*	*14,27*	*13,46*	*15,62*	*17,8*	*16,56*	*17,13*	*15,28*	*14,87*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*15,46*									

Измерение № 4

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*0,8*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*3,71*	*3,66*	*3,73*	*3,68*	*3,8*	*3,7*	*3,66*	*3,66*	*3,66*	*3,7*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*2,9*	*2,9*	*2,77*	*2,72*	*2,9*	*2,72*	*2,8*	*2,74*	*2,8*	*2,77*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*3,25*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*4,13*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8747	DSC_8748	DSC_8749	DSC_8750	DSC_8751	DSC_8752	DSC_8753	DSC_8754	DSC_8755	DSC_8756
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8757	DSC_8758	DSC_8759	DSC_8760	DSC_8761	DSC_8762	DSC_8763	DSC_8764	DSC_8765	DSC_8766
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*17,92*	*12,53*	*17,32*	*14,14*	*16,95*	*14,36*	*12,79*	*13,01*	*14,66*	*13,35*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*16,43*	*18,34*	*15,25*	*15,53*	*17,47*	*18,40*	*14,54*	*13,54*	*16,51*	*14,44*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*15,37*									

Измерение №____5____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	1,0									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	3,1	3,15	3,1	3,2	3,21	3,23	3,21	3,21	3,13	3,31
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	4,2	4,06	4,23	4,08	4,1	4,15	4,17	4,1	3,98	4,06
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	3,65									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	4,88									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	-	DSC_8767	DSC_8768	-	-	DSC_8769	DSC_8770	-	DSC_8771	-
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	-	DSC_8772	DSC_8773	DSC_8774	DSC_8775	DSC_8776	-	-	DSC_8777	DSC_8778
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	0,0	17,22	15,47	0,0	0,0	17,98	18,63	0,0	17,0	0,0
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	0,0	17,14	16,18	15,22	14,2	16,12	0,0	0,0	19,5	16,56
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	16,77									

Измерение №____6____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	1,2									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	4,6	4,44	4,57	4,4	4,57	4,6	4,32	4,43	4,3	4,28
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	3,53	3,6	3,79	3,64	3,79	3,5	3,6	3,57	3,55	3,34
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	4,02									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	5,7									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8779	DSC_8780	DSC_8781	DSC_8782	DSC_8783	DSC_8784	DSC_8785	DSC_8786	DSC_8787	DSC_8788
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8789	DSC_8790	DSC_8791	DSC_8792	DSC_8793	DSC_8794	DSC_8795	DSC_8796	DSC_8797	DSC_8798
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	17,57	17,41	15,11	14,86	15,64	15,79	14,68	16,12	15,88	16,11
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	14,67	17,32	16,1	15,93	17,7	15,67	15,4	16,86	15,12	14,68
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	15,93									

Измерение № 7

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн}$, м	*1,4*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	*4,03*	*3,98*	*3,88*	*3,96*	*3,8*	*4,09*	*3,96*	*3,93*	*3,93*	*3,91*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	*4,88*	*4,67*	*4,7*	*4,93*	*4,8*	*4,9*	*4,8*	*4,95*	*4,9*	*4,8*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм}$, ГОм	*4,39*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн})$, ГОм	*6,73*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8799	DSC_8800	DSC_8801	DSC_8802	DSC_8803	DSC_8804	DSC_8805	DSC_8806	DSC_8807	DSC_8808
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8809	DSC_8810	DSC_8811	DSC_8812	DSC_8813	DSC_8814	DSC_8815	DSC_8816	DSC_8817	DSC_8818
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	*15,12*	*15,61*	*14,64*	*14,55*	*15,99*	*15,43*	*16,65*	*13,37*	*15,3*	*17,02*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	*13,6*	*15,37*	*13,42*	*17,61*	*14,77*	*16,27*	*16,03*	*15,82*	*15,32*	*14,92*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн})$, град.	*15,34*									

Измерение № 8

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн}$, м	*1,6*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	*5,31*	*4,91*	*5,19*	*5,0*	*5,2*	*5,16*	*5,24*	*5,0*	*4,98*	*4,91*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	*4,47*	*4,2*	*4,4*	*4,25*	*4,2*	*4,17*	*3,92*	*4,35*	*4,25*	*4,47*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм}$, ГОм	*4,68*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн})$, ГОм	*7,92*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8819	DSC_8820	DSC_8821	DSC_8822	DSC_8823	DSC_8824	DSC_8825	DSC_8826	DSC_8827	DSC_8828
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8829	DSC_8830	DSC_8831	DSC_8832	DSC_8833	DSC_8834	DSC_8835	DSC_8836	DSC_8837	DSC_8838
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	*19,35*	*16,01*	*16,91*	*12,68*	*13,43*	*17,34*	*14,12*	*16,21*	*17,44*	*19,67*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	*15,76*	*15,72*	*14,47*	*14,14*	*16,12*	*16,59*	*18,0*	*15,09*	*12,83*	*13,21*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн})$, град.	*15,75*									

Измерение № *9*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,8*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*5,29*	*4,11*	*5,3*	*4,2*	*5,18*	*5,18*	*5,2*	*4,49*	*5,18*	*4,19*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*4,74*	*4,73*	*5,2*	*4,14*	*5,19*	*5,36*	*5,08*	*5,08*	*4,57*	*4,49*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*4,84*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*9,68*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8839	DSC_8840	DSC_8841	DSC_8842	DSC_8843	DSC_8844	DSC_8845	DSC_8846	DSC_8847	DSC_8848
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8849	DSC_8850	DSC_8851	DSC_8852	DSC_8853	DSC_8854	DSC_8855	DSC_8856	DSC_8857	DSC_8858
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*19,56*	*13,96*	*14,82*	*13,6*	*12,82*	*14,66*	*15,04*	*15,05*	*14,21*	*14,14*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*15,51*	*16,16*	*20,0*	*14,72*	*14,98*	*13,01*	*16,32*	*17,85*	*13,92*	*14,75*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*15,25*									

Измерение № *10*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*2,0*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*4,9*	*5,06*	*4,85*	*4,98*	*4,85*	*4,88*	*4,98*	*4,95*	*4,93*	*5,03*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*3,83*	*4,06*	*3,88*	*4,19*	*4,0*	*3,98*	*4,06*	*3,91*	*4,06*	*3,8*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*4,46*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*12,39*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8859	DSC_8860	DSC_8861	DSC_8862	DSC_8863	DSC_8864	DSC_8865	DSC_8866	DSC_8867	DSC_8868
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8869	DSC_8870	DSC_8871	DSC_8872	DSC_8873	DSC_8874	DSC_8875	DSC_8876	DSC_8877	DSC_8878
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*13,45*	*15,08*	*13,15*	*14,08*	*14,62*	*13,95*	*13,84*	*14,97*	*15,39*	*17,41*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*15,91*	*15,22*	*13,08*	*20,42*	*15,22*	*12,85*	*16,74*	*18,44*	*16,59*	*18,44*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*15,44*									

Измерение № *11*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{позд.}$, м	*2,2*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*2,6*	*2,69*	*2,64*	*2,69*	*2,66*	*2,67*	*2,61*	*2,71*	*2,71*	*2,63*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*3,63*	*3,75*	*3,76*	*3,87*	*3,64*	*3,84*	*3,65*	*3,9*	*3,78*	*3,87*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*3,22*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{позд.})$, ГОм	*15,28*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8879	DSC_8880	DSC_8881	DSC_8882	DSC_8883	DSC_8884	DSC_8885	DSC_8886	DSC_8887	DSC_8888
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8889	DSC_8890	DSC_8891	DSC_8892	DSC_8893	DSC_8894	DSC_8895	DSC_8896	DSC_8897	DSC_8898
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*15,43*	*16,52*	*13,45*	*13,25*	*14,61*	*15,03*	*14,21*	*15,76*	*16,1*	*13,47*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*16,38*	*14,85*	*15,46*	*15,46*	*16,26*	*17,19*	*16,95*	*14,73*	*14,73*	*16,03*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{позд.})$, град.	*15,29*									

Измерение № *12*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{позд.}$, м	*2,4*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*1,95*	*1,93*	*1,96*	*1,91*	*1,99*	*1,93*	*1,98*	*1,9*	*1,97*	*1,97*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*1,11*	*1,14*	*1,07*	*1,12*	*1,12*	*1,17*	*1,07*	*0,877*	*0,734*	*0,418*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*1,47*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{позд.})$, ГОм	*17,76*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8899	DSC_8900	DSC_8901	DSC_8902	DSC_8903	DSC_8904	DSC_8905	DSC_8906	DSC_8907	DSC_8908
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8909	DSC_8910	DSC_8911	DSC_8912	DSC_8913	-	DSC_8914	DSC_8915	DSC_8916	DSC_8917
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*14,36*	*14,5*	*13,65*	*15,44*	*14,55*	*16,63*	*16,03*	*14,54*	*14,82*	*17,93*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*16,05*	*18,33*	*13,31*	*16,74*	*14,84*	*0,0*	*13,84*	*16,16*	*14,36*	*13,78*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{позд.})$, град.	*15,26*									

Измерение № 13

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{возд.}$, м	2,6									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{возд.i}$, ГОм	0,00501	0,00766	0,00704	0,00707	0,00649	0,00617	0,00824	0,00711	0,00471	0,00485
Измеренное значение сопротивления $R_{возд.j}$, ГОм	0,00448	0,00419	0,00424	0,00569	0,00527	0,00426	0,00586	0,00383	0,00575	0,00477
Усреднённое значение сопротивления $R_{возд.}$, ГОм	0,01									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{возд.})$, ГОм	19,35									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8918	DSC_8819	DSC_8920	DSC_8921	DSC_8922	DSC_8923	DSC_8924	DSC_8925	DSC_8926	DSC_8927
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8928	DSC_8929	DSC_8930	DSC_8931	DSC_8932	DSC_8933	DSC_8934	DSC_8935	DSC_8936	DSC_8937
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{возд.i}$, град.	18,36	15,67	12,88	15,77	13,85	16,15	18,86	17,03	16,53	15,02
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{возд.j}$, град.	15,58	12,07	16,37	14,82	15,28	16,07	14,54	13,4	14,9	17,8
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{возд.})$, град.	15,55									

Измерение № 14

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{возд.}$, м	2,8									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{возд.i}$, ГОм	0,0127	0,00938	0,0128	0,0201	0,0139	0,0187	0,0159	0,0168	0,0193	0,0248
Измеренное значение сопротивления $R_{возд.j}$, ГОм	0,0253	0,0183	0,0207	0,0175	0,0092	0,0082	0,00696	0,00838	0,011	0,00955
Усреднённое значение сопротивления $R_{возд.}$, ГОм	0,01									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{возд.})$, ГОм	19,35									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8938	DSC_8839	DSC_8940	DSC_8941	DSC_8942	DSC_8943	DSC_8944	DSC_8945	DSC_8946	DSC_8947
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8948	DSC_8949	DSC_8950	DSC_8951	DSC_8952	DSC_8953	DSC_8954	DSC_8955	DSC_8956	DSC_8957
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{возд.i}$, град.	14,36	17,51	15,87	15,84	15,28	16,23	14,36	15,07	16,02	13,08
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{возд.j}$, град.	16,0	15,77	17,31	13,51	14,03	19,77	12,21	12,3	14,68	13,2
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{возд.})$, град.	15,12									

Экспериментальные исследования провели:

Заместитель начальника отдела – начальник отделения планирования организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России, подполковник внутренней службы — А.П. Кармес

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Т.И. Чистяков

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — А.Д. Храмцов

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Е.С. Дводненко

Присутствовали:

Заместитель начальника учебного центра (по учебной работе) – начальник отдела ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Р.А. Черевиченко

Заведующий кабинетом отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — С.Н. Музыченко

«21» июня 2019 г.

ПРОТОКОЛ № *1 б*

проведения экспериментального исследования

«*21*» *июня 2019 г.* *10.00 ч. ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС*
(дата составления) (время и место составления)

Заместитель начальника отдела – начальник отделения планирования организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России,
подполковник внутренней службы Кармес Алексей Петрович
Заместитель начальника учебного центра (по учебной работе) – начальник отдела ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Черевиченко Роман Александрович
Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Чистяков Тимур Игоревич
Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Храмцов Алексей Дмитриевич
Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Дводненко Евгений Сергеевич
Заведующий кабинетом отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Музыченко Сергей Николаевич

(фамилии, имена, отчества должности лиц, проводивших испытания)

к Акту от «*21*» *июня 2019 г.* № *1*

по результатам проведения экспериментального исследования в период с «*19*» *апреля 2019 г.* по «*24*» *апреля 2019 г.* по адресу:

Ростовская область, г. Волгодонск, ул. 8-я Заводская, дом 7, Федеральное автономное учреждение дополнительного профессионального образования «Волгодонский учебный центр федеральной противопожарной службы»

(место проведения испытания)

Ход экспериментального исследования:

В соответствии с «Программой и методикой экспериментального исследования сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого», 22.04.2019 г. в период времени с 13 часов 20 минут по 15 часов 40 минут, на территории ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС проведены экспериментальные исследования сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарного ствола трансформера (сопло – шайба с острой кромкой) в положении для подачи распылённой струи (испытание № 1б). Экспериментальное исследование проведено при температуре окружающего воздуха 16 - 20 °С и скорости ветра 1 - 3 м/с. Режим работы УПТАВ автомобиля пожарного многоцелевого ТАВ 100.

Результаты измерений и вычислений прилагаются к настоящему протоколу на 19 (девятнадцати) листах (38 страницах).

Экспериментальные исследования провели:

_____ А.П. Кармес

_____ Т.И. Чистяков

_____ А.Д. Храмцов

_____ Е.С. Дводненко

Присутствовали:

_____ Р.А. Черевиченко

_____ С.Н. Музыченко

Результаты измерений и вычислений

Экспериментальное исследование № *16*

Тип пожарного ствола для подачи ТАВ *Ствол трансформер в положении для подачи распылённой струи*

Режим УПТАВ *ТАВ 100*

Расход пожарного ствола для подачи ТАВ G, л/с *0,5*

Температура недогретой воды на выходе из УПТАВ, °С *175*

Расстояние от пожарного ствола для подачи ТАВ до металлического экрана l, м *4,0*

Шаг длины струи $\Delta l_{полн.}$, м *0,2*

Максимальное значение сопротивления, измеренное мегаомметром $R_{макс}$, ГОм *8,0*

Измерение № *1*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*0,2*									
Значения индексов i и j	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	*1.31*	*1.36*	*1.37*	*1.38*	*1.32*	*1.35*	*1.29*	*1.37*	*1.36*	*1.38*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	*0.579*	*0.551*	*0.498*	*0.52*	*0.56*	*0.48*	*0.56*	*0.52*	*0.579*	*0.536*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*0,94*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*0,97*									
Имя файла i фотоснимка струи ТАВ	IMG_1818	IMG_1819	IMG_1820	IMG_1821	IMG_1822	IMG_1823	IMG_1824	IMG_1825	IMG_1826	IMG_1827
Имя файла j фотоснимка струи ТАВ	IMG_1828	IMG_1829	IMG_1830	IMG_1831	IMG_1832	IMG_1833	IMG_1834	IMG_1835	IMG_1836	IMG_1837
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	*50,53*	*62,11*	*40,34*	*61,28*	*57,98*	*58,94*	*60,0*	*46,1*	*51,99*	*55,39*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	*60,0*	*60,0*	*58,15*	*49,5*	*62,47*	*62,47*	*64,96*	*60,0*	*54,84*	*56,92*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*56,7*									

Измерение № *2*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*0,4*									
Значения индексов i и j	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	*1,23*	*1,21*	*1,39*	*1,22*	*1,24*	*1,27*	*1,31*	*1,23*	*1,33*	*1,25*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	*2,45*	*2,36*	*2,45*	*2,13*	*2,26*	*2,37*	*2,52*	*2,29*	*2,18*	*2,57*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*1,81*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*1,93*									
Имя файла i фотоснимка струи ТАВ	IMG_1838	-	-	IMG_1839	IMG_1840	-	IMG_1841	IMG_1842	-	-
Имя файла j фотоснимка струи ТАВ	IMG_1843	IMG_1844	IMG_1845	-	IMG_1846	IMG_1847	-	IMG_1848	IMG_1849	IMG_1850
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	*51,78*	*0,0*	*0,0*	*57,94*	*52,68*	*0,0*	*46,64*	*54,7*	*0,0*	*0,0*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	*47,94*	*48,86*	*0,0*	*0,0*	*51,57*	*41,59*	*0,0*	*42,94*	*54,62*	*38,51*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*49,15*									

Измерение №_____3_____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	0,6									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	3,46	3,53	3,32	3,1	3,07	3,23	3,67	3,22	3,11	3,45
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	2,2	2,3	2,12	1,84	2,37	2,21	1,81	2,16	1,69	1,82
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	2,68									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	2,95									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	-	-	IMG_1851	IMG_1852	-	-	IMG_1853	IMG_1854	-	IMG_1855
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	-	IMG_1856	-	IMG_1857	IMG_1858	IMG_1859	-	IMG_1860	IMG_1861	IMG_1862
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	0,0	0,0	40,98	56,14	0,0	0,0	44,22	49,57	0,0	43,89
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	0,0	43,89	0,0	67,5	45,7	44,22	0,0	38,38	47,0	32,37
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	45,6									

Измерение №_____4_____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	0,8									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	2,72	2,72	2,64	2,6	2,7	2,76	2,57	2,5	2,62	2,49
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	3,96	3,98	4,1	4,02	4,06	4,1	4,0	4,12	4,16	4,0
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	3,34									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	3,79									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1863	IMG_1864	IMG_1865	IMG_1866	IMG_1867	IMG_1868	IMG_1869	IMG_1870	IMG_1871	IMG_1872
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1873	IMG_1874	IMG_1875	IMG_1876	IMG_1877	IMG_1878	IMG_1879	IMG_1880	IMG_1881	IMG_1882
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	34,81	36,29	38,76	42,22	47,94	39,46	44,32	35,02	46,38	48,68
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	46,81	38,94	49,75	38,94	44,3	39,43	46,34	35,84	39,6	44,24
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	41,9									

Измерение № 5

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,0*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*4,6*	*4,54*	*4,52*	*4,67*	*4,76*	*4,7*	*4,78*	*4,62*	*4,7*	*4,6*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*3,2*	*3,45*	*3,37*	*3,24*	*3,37*	*3,42*	*3,50*	*3,45*	*3,27*	*3,5*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*4,01*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*4,7*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1883	IMG_1884	IMG_1885	IMG_1886	IMG_1887	IMG_1888	IMG_1889	IMG_1890	IMG_1891	IMG_1892
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1893	IMG_1894	IMG_1895	IMG_1896	IMG_1897	IMG_1898	IMG_1899	IMG_1900	IMG_1901	IMG_1902
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*72,99*	*61,15*	*50,12*	*43,06*	*42,7*	*38,06*	*48,3*	*43,48*	*25,64*	*30,56*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*40,3*	*37,35*	*54,18*	*66,35*	*67,33*	*48,3*	*63,78*	*56,49*	*60,99*	*46,79*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*49,9*									

Измерение № 6

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,2*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*4,08*	*4,0*	*4,14*	*3,9*	*3,93*	*3,8*	*4,0*	*4,2*	*4,17*	*4,05*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*5,36*	*5,27*	*5,27*	*5,27*	*5,4*	*5,24*	*5,36*	*5,37*	*5,45*	*5,33*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*4,68*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*5,69*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1911	IMG_1912	IMG_1913	IMG_1914	IMG_1915	IMG_1916	IMG_1917	IMG_1918	IMG_1919	IMG_1920
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1921	IMG_1922	IMG_1923	IMG_1924	IMG_1925	IMG_1926	IMG_1927	IMG_1928	IMG_1929	-
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*49,91*	*49,62*	*60,0*	*49,8*	*42,73*	*53,59*	*51,89*	*51,89*	*54,56*	*61,3*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*44,49*	*48,53*	*48,01*	*55,49*	*44,67*	*56,55*	*44,96*	*52,03*	*74,11*	*0,0*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*52,32*									

Измерение № 7

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,4*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*5,93*	*5,9*	*6,14*	*5,9*	*6,11*	*6,11*	*6,17*	*6,14*	*6,0*	*6,02*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*4,8*	*4,68*	*4,62*	*4,71*	*4,47*	*4,65*	*4,66*	*4,65*	*4,71*	*4,66*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*5,35*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*6,79*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1930	IMG_1931	IMG_1932	IMG_1933	IMG_1934	IMG_1935	IMG_1936	IMG_1937	IMG_1938	IMG_1939
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1940	IMG_1941	IMG_1942	IMG_1943	IMG_1944	IMG_1945	IMG_1946	IMG_1947	IMG_1948	IMG_1949
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*43,12*	*54,29*	*37,11*	*39,43*	*50,06*	*57,81*	*61,33*	*66,26*	*55,41*	*57,52*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*58,78*	*62,38*	*55,24*	*54,33*	*43,02*	*54,47*	*58,82*	*43,31*	*57,69*	*57,61*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*53,4*									

Измерение № 8

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,6*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*5,4*	*5,82*	*4,6*	*5,58*	*5,14*	*5,45*	*5,89*	*5,48*	*5,8*	*5,6*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*5,4*	*6,71*	*6,67*	*6,64*	*6,47*	*7,05*	*6,91*	*6,84*	*6,8*	*6,84*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*6,05*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*8,1*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1950	IMG_1951	IMG_1952	IMG_1953	IMG_1954	IMG_1955	IMG_1956	IMG_1957	IMG_1958	IMG_1959
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1960	IMG_1961	IMG_1962	IMG_1963	IMG_1964	IMG_1965	IMG_1966	IMG_1967	IMG_1968	IMG_1969
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*54,45*	*42,57*	*57,37*	*58,92*	*48,85*	*54,28*	*68,64*	*49,25*	*62,78*	*55,73*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*62,72*	*50,75*	*57,84*	*50,61*	*51,22*	*76,2*	*51,74*	*45,41*	*53,58*	*64,96*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*55,89*									

Измерение №____9____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	1,8									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	7,62	7,66	7,09	7,54	7,47	7,09	7,62	7,43	7,6	6,93
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	5,4	5,86	6,2	5,86	6,28	6,13	5,97	6,09	6,0	5,82
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	6,68									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	9,5									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1970	IMG_1971	IMG_1972	IMG_1973	IMG_1974	IMG_1975	IMG_1976	IMG_1977	IMG_1978	IMG_1979
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1980	IMG_1981	IMG_1982	IMG_1983	IMG_1984	IMG_1985	IMG_1986	IMG_1987	IMG_1988	-
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	55,24	52,3	51,36	68,28	52,42	62,9	64,39	46,64	48,92	48,57
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	53,69	54,07	63,1	56,22	52,78	61,38	56,15	57,2	48,9	0,0
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	55,5									

Измерение №____10____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	2,0									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	6,64	6,8	6,13	6,78	6,47	6,7	6,86	6,63	6,47	7,28
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	7,74	8,13	7,93	8,27	7,6	8,16	8,12	8,08	7,8	8,23
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	7,34									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	11,4									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1989	IMG_1990	IMG_1991	IMG_1992	IMG_1993	IMG_1994	IMG_1995	IMG_1996	IMG_1997	IMG_1998
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_1999	IMG_2000	IMG_2001	IMG_2002	IMG_2003	IMG_2004	IMG_2005	IMG_2006	IMG_2007	IMG_2008
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	44,29	50,75	54,18	47,33	62,78	47,16	45,15	58,78	57,65	57,73
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	53,96	48,36	52,42	38,7	35,79	51,72	44,58	48,97	42,16	48,2
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	49,58									

Измерение № *11*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*2,2*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*8,68*	*7,4*	*8,55*	*7,36*	*8,34*	*7,23*	*8,77*	*8,6*	*7,23*	*7,51*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*8,3*	*7,83*	*8,43*	*6,68*	*7,53*	*7,45*	*8,26*	*6,89*	*8,51*	*6,8*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*7,82*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*13,6*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2009	IMG_2010	IMG_2011	IMG_2012	IMG_2013	IMG_2014	IMG_2015	IMG_2016	IMG_2017	IMG_2018
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2019	IMG_2020	-	IMG_2021	IMG_2022	IMG_2023	IMG_2024	IMG_2025	IMG_2026	IMG_2027
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*53,79*	*46,81*	*44,82*	*50,59*	*45,24*	*55,33*	*39,69*	*41,42*	*44,05*	*42,65*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*50,46*	*39,79*	*0,0*	*50,57*	*60,0*	*48,79*	*44,24*	*39,2*	*40,83*	*45,77*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*46,53*									

Измерение № *12*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*2,4*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*8,98*	*7,06*	*8,2*	*7,49*	*8,85*	*8,26*	*8,8*	*7,28*	*8,55*	*7,66*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*6,98*	*8,47*	*7,36*	*8,14*	*7,57*	*7,57*	*9,06*	*7,11*	*8,77*	*7,87*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*8,0*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*16,0*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	-	IMG_2028	IMG_2029	IMG_2030	IMG_2031	IMG_2032	IMG_2033	IMG_2034	IMG_2035	IMG_2036
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2037	IMG_2038	IMG_2039	IMG_2040	IMG_2041	IMG_2042	IMG_2043	IMG_2044	IMG_2045	IMG_2046
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*0,0*	*68,46*	*49,64*	*44,34*	*52,36*	*58,71*	*67,95*	*65,97*	*49,09*	*67,5*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*58,92*	*45,49*	*49,71*	*68,91*	*44,05*	*52,47*	*56,14*	*54,56*	*54,67*	*47,38*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*55,6*									

Измерение №_____13_____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	2,6									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	5,86	6,2	6,24	6,24	6,2	5,8	6,36	6,4	6,51	6,63
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	7,93	8,08	7,66	7,93	7,62	7,77	7,68	7,93	7,71	8,27
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	7,05									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	21,51									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2047	IMG_2048	IMG_2049	IMG_2050	IMG_2051	IMG_2052	IMG_2053	IMG_2054	IMG_2055	IMG_2056
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2057	IMG_2058	IMG_2059	IMG_2060	IMG_2061	IMG_2062	IMG_2063	IMG_2064	IMG_2065	IMG_2066
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	58,76	47,56	48,89	57,08	37,64	53,96	55,41	47,5	55,54	48,89
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	39,54	40,71	48,53	46,27	54,18	45,11	44,24	57,26	57,26	49,87
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	49,71									

Измерение №_____14_____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	2,8									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	5,69	5,87	5,96	6,0	5,54	5,75	5,7	5,8	5,66	5,51
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	3,96	4,14	4,0	3,82	3,63	3,82	3,43	3,66	3,55	3,73
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	4,76									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	26,18									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2067	-	IMG_2068	IMG_2069	-	-	IMG_2070	IMG_2071	IMG_2072	IMG_2073
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2074	IMG_2075	IMG_2076	IMG_2077	-	IMG_2078	IMG_2079	IMG_2080	IMG_2081	IMG_2082
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	45,17	0,0	61,48	55,91	0,0	0,0	55,54	49,59	48,7	51,5
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	61,13	50,21	50,46	48,3	0,0	52,66	56,61	66,73	62,61	47,16
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	53,99									

Измерение № *15*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,0*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*1,65*	*1,49*	*1,35*	*1,6*	*1,28*	*1,49*	*1,44*	*1,32*	*1,69*	*1,75*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*3,23*	*2,95*	*3,19*	*2,87*	*2,88*	*2,71*	*3,09*	*2,93*	*2,56*	*1,27*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*2,14*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*29,69*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2083	IMG_2084	-	-	-	-	-	-	-	-
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	-	-	-	-	-	-	IMG_2085	IMG_2086	IMG_2087	IMG_2088
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*60,0*	*66,41*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*62,96*	*58,57*	*60,0*	*58,39*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*61,06*									

Измерение № *16*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,2*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*1,06*	*1,14*	*1,12*	*1,05*	*1,12*	*1,03*	*1,17*	*1,06*	*1,11*	*1,07*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*0,59*	*0,54*	*0,57*	*0,54*	*0,47*	*0,51*	*0,56*	*0,56*	*0,51*	*0,25*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*0,8*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*31,18*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2089	IMG_2090	IMG_2091	IMG_2092	IMG_2093	IMG_2094	IMG_2095	IMG_2096	IMG_2097	IMG_2098
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2099	IMG_2100	IMG_2101	IMG_2102	IMG_2103	IMG_2104	IMG_2105	IMG_2106	IMG_2107	IMG_2108
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*58,5*	*61,33*	*58,73*	*41,37*	*60,0*	*61,44*	*53,2*	*52,66*	*54,15*	*52,1*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*46,84*	*41,41*	*45,58*	*44,05*	*49,95*	*43,31*	*37,66*	*65,16*	*65,16*	*50,06*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*52,13*									

Измерение № *17*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,4*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*0,583*	*0,107*	*0,454*	*0,513*	*0,195*	*0,339*	*0,214*	*0,355*	*0,0192*	*0,0326*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*0,00263*	*0,00234*	*0,00342*	*0,00458*	*0,00384*	*0,00584*	*0,00508*	*0,0041*	*0,00473*	*0,00278*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*0,14*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*31,86*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2109	IMG_2110	IMG_2111	IMG_2112	IMG_2113	IMG_2114	IMG_2115	IMG_2116	IMG_2117	IMG_2118
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2119	IMG_2120	IMG_2121	IMG_2122	IMG_2123	IMG_2124	IMG_2125	IMG_2126	IMG_2127	IMG_2128
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*62,08*	*57,3*	*55,04*	*56,2*	*55,12*	*48,82*	*56,98*	*56,61*	*60,0*	*58,43*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*64,96*	*50,06*	*48,38*	*64,46*	*43,19*	*60,0*	*40,81*	*50,14*	*52,1*	*65,59*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*55,31*									

Измерение № *18*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,6*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*0,00127*	*0,0016*	*0,00109*	*0,00101*	*0,00168*	*0,00193*	*0,00286*	*0,00309*	*0,00209*	*0,00164*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*0,000827*	*0,000981*	*0,000909*	*0,000872*	*0,00144*	*0,000937*	*0,000645*	*0,00171*	*0,00131*	*0,001*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*0,001445*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*32,0*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2129	IMG_2130	IMG_2131	IMG_2132	IMG_2133	IMG_2134	IMG_2135	IMG_2136	IMG_2137	IMG_2138
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2139	IMG_2140	IMG_2141	IMG_2142	IMG_2143	IMG_2144	IMG_2145	IMG_2146	IMG_2147	IMG_2148
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*47,58*	*58,2*	*43,63*	*45,6*	*43,46*	*41,64*	*53,98*	*43,07*	*44,79*	*47,64*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*44,05*	*44,93*	*71,37*	*57,11*	*62,93*	*63,89*	*48,23*	*46,64*	*73,06*	*0,0*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*51,67*									

Измерение № *19*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,8*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	*0,00121*	*0,000637*	*0,00117*	*0,000855*	*0,00137*	*0,00226*	*0,00357*	*0,00439*	*0,00222*	*0,00121*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	*0,00301*	*0,00189*	*0,00103*	*0,00116*	*0,00206*	*0,00222*	*0,00415*	*0,00216*	*0,00375*	*0,00249*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм}$, ГОм	*0,002141*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*32,0*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2148	IMG_2149	IMG_2150	IMG_2151	IMG_2152	IMG_2153	IMG_2154	IMG_2155	IMG_2156	IMG_2157
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	IMG_2158	IMG_2159	IMG_2160	IMG_2161	IMG_2162	IMG_2163	IMG_2164	IMG_2165	IMG_2166	IMG_2167
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	*70,38*	*0,0*	*61,56*	*51,58*	*46,64*	*39,9*	*48,71*	*46,58*	*47,82*	*58,68*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	*46,15*	*49,25*	*49,25*	*46,5*	*43,89*	*38,54*	*52,16*	*54,07*	*69,7*	*45,77*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*48,36*									

Экспериментальные исследования провели:

Заместитель начальника отдела – начальник отделения планирования организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России, подполковник внутренней службы — А.П. Кармес

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Т.И. Чистяков

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — А.Д. Храмцов

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Е.С. Дводненко

Присутствовали:

Заместитель начальника учебного центра (по учебной работе) – начальник отдела ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Р.А. Черевиченко

Заведующий кабинетом отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — С.Н. Музыченко

«*21*» *июня* 2019 г.

ПРОТОКОЛ № 2

проведения экспериментального исследования

«21» июня 2019 г. (дата составления) 10.00 ч. ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС (время и место составления)

Заместитель начальника отдела – начальник отделения планирования организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России, подполковник внутренней службы Кармес Алексей Петрович

Заместитель начальника учебного центра (по учебной работе) – начальник отдела ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Черевиченко Роман Александрович

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Чистяков Тимур Игоревич

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Храмцов Алексей Дмитриевич

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Двойденко Евгений Сергеевич

Заведующий кабинетом отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Музыченко Сергей Николаевич

(фамилии, имена, отчества должности лиц, проводивших испытания)

к Акту от «21» июня 2019 г. № 1

по результатам проведения экспериментального исследования в период с «19» апреля 2019 г. по «24» апреля 2019 г. по адресу:

Ростовская область, г. Волгодонск, ул. 8-я Заводская, дом 7, Федеральное автономное учреждение дополнительного профессионального образования «Волгодонский учебный центр федеральной противопожарной службы»

(место проведения испытания)

Ход экспериментального исследования:

В соответствии с «Программой и методикой экспериментального исследования сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого», 22.04.2019 г. в период времени с 08 часов 40 минут по 10 часов 30 минут, на территории ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС проведены экспериментальные исследования сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарного ствола пика (сопло Лаваля) (испытание № 2). Экспериментальное исследование проведено при температуре окружающего воздуха 16 - 20 °С и скорости ветра 1 - 3 м/с. Режим работы УПТАВ автомобиля пожарного многоцелевого ТАВ 100.

Результаты измерений и вычислений прилагаются к настоящему протоколу на 19 (девятнадцати) листах (38 страницах).

Экспериментальные исследования провели:

_____А.П. Кармес

_____Т.И. Чистяков

_____А.Д. Храмцов

_____Е.С. Дводненко

Присутствовали:

_____Р.А. Черевиченко

_____С.Н. Музыченко

Результаты измерений и вычислений

Экспериментальное исследование № 2

Тип пожарного ствола для подачи ТАВ Ствол пика (сопло Лаваля)

Режим УПТАВ ТАВ 100

Расход пожарного ствола для подачи ТАВ G, л/с 0,5

Температура недогретой воды на выходе из УПТАВ, °С 175

Расстояние от пожарного ствола для подачи ТАВ до металлического экрана l, м 4,0

Шаг длины струи $\Delta l_{полн}$, м 0,2

Максимальное значение сопротивления, измеренное мегаомметром $R_{маст}$, ГОм 4,19

Измерение № 1

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн}$, м	0,2									
Значения индексов i и j	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	1,2	1,14	1,1	1,08	1,11	1,09	1,08	1,13	1,24	1,11
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	0,567	0,568	0,58	0,573	0,583	0,57	0,563	0,577	0,544	0,572
Усреднённое значение сопротивления R, ГОм	0,85									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн})$, ГОм	0,9									
Имя файла i фотоснимка струи ТАВ	DSC_8302	DSC_8303	DSC_8304	DSC_8305	DSC_8306	DSC_8308	DSC_8309	DSC_8310	DSC_8311	DSC_8312
Имя файла j фотоснимка струи ТАВ	DSC_8312	DSC_8313	DSC_8314	DSC_8315	DSC_8316	DSC_8317	DSC_8318	DSC_8319	DSC_8320	DSC_8321
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	9,78	12,16	11,68	9,68	10,68	12,9	10,35	10,28	10,06	11,41
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	12,54	10,35	10,3	12,16	10,43	11,28	12,87	13,28	11,86	12,0
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн})$, град.	11,3									

Измерение № 2

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн}$, м	0,4									
Значения индексов i и j	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	1,0	0,965	0,98	0,98	0,98	0,942	0,98	0,973	0,973	0,934
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	1,61	1,52	1,59	1,58	1,57	1,63	1,6	1,66	1,6	1,68
Усреднённое значение сопротивления R, ГОм	1,29									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн})$, ГОм	1,41									
Имя файла i фотоснимка струи ТАВ	DSC_8324	DSC_8325	DSC_8326	DSC_8327	DSC_8328	DSC_8329	DSC_8330	DSC_8331	DSC_8332	DSC_8333
Имя файла j фотоснимка струи ТАВ	DSC_8334	DSC_8335	DSC_8336	DSC_8337	DSC_8338	DSC_8339	DSC_8340	DSC_8341	DSC_8342	DSC_8343
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	12,16	13,43	12,7	13,86	13,72	13,57	13,25	13,08	14,6	13,1
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	11,74	12,46	13,07	12,36	13,55	11,79	12,6	13,25	14,84	14,73
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн})$, град.	13,19									

Измерение № *3*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*0,6*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*1,77*	*1,56*	*1,89*	*2,08*	*2,06*	*1,86*	*2,18*	*2,34*	*1,88*	*2,49*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*1,31*	*1,36*	*1,28*	*1,3*	*1,34*	*1,37*	*1,33*	*1,31*	*1,39*	*1,36*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*1,67*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*1,88*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8344	DSC_8345	DSC_8346	DSC_8347	DSC_8348	DSC_8349	DSC_8350	DSC_8351	DSC_8352	DSC_8353
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8354	DSC_8355	DSC_8356	DSC_8357	DSC_8358	DSC_8359	DSC_8360	DSC_8361	DSC_8362	DSC_8363
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*13,54*	*11,94*	*13,77*	*12,9*	*13,05*	*13,05*	*12,59*	*10,39*	*10,55*	*12,99*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*12,56*	*12,59*	*12,63*	*12,11*	*13,46*	*12,94*	*12,8*	*11,96*	*11,92*	*12,7*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*12,52*									

Измерение № *4*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*0,8*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*1,83*	*1,72*	*1,63*	*1,5*	*1,6*	*1,46*	*1,53*	*1,52*	*1,39*	*1,42*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*1,81*	*1,95*	*1,99*	*2,1*	*1,92*	*2,16*	*2,41*	*2,46*	*2,58*	*2,49*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*1,87*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*2,14*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8364	DSC_8365	DSC_8366	DSC_8367	DSC_8368	DSC_8369	DSC_8370	DSC_8371	DSC_8372	DSC_8373
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8374	DSC_8375	DSC_8376	DSC_8377	DSC_8378	DSC_8379	DSC_8380	DSC_8381	DSC_8382	-
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*11,82*	*14,08*	*12,48*	*12,85*	*11,17*	*11,48*	*11,73*	*12,08*	*13,28*	*11,8*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*11,88*	*12,33*	*11,07*	*10,86*	*10,05*	*12,99*	*12,46*	*10,93*	*12,45*	*0,0*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,99*									

Измерение № 5

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,0*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*2,9*	*2,56*	*2,67*	*2,43*	*2,38*	*2,5*	*2,58*	*2,84*	*2,58*	*2,3*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*1,6*	*1,88*	*1,85*	*1,62*	*1,84*	*1,88*	*1,85*	*1,95*	*1,88*	*1,79*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*2,19*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*2,59*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8383	DSC_8384	DSC_8385	DSC_8386	DSC_8387	DSC_8388	DSC_8389	DSC_8390	DSC_8391	-
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8392	DSC_8393	DSC_8394	DSC_8395	DSC_8396	DSC_8397	DSC_8398	DSC_8399	DSC_8400	DSC_8401
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*12,08*	*11,48*	*11,37*	*11,12*	*12,47*	*11,4*	*10,92*	*11,83*	*9,88*	*0,0*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*12,11*	*12,01*	*12,07*	*12,3*	*11,25*	*11,48*	*11,48*	*10,91*	*10,79*	*11,04*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,47*									

Измерение № 6

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,2*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*2,04*	*1,98*	*2,09*	*1,88*	*2,01*	*1,83*	*2,07*	*1,77*	*1,92*	*1,95*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*2,89*	*3,05*	*2,87*	*2,93*	*2,67*	*2,84*	*2,86*	*2,62*	*2,67*	*2,35*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*2,36*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*2,84*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8402	DSC_8403	DSC_8404	DSC_8405	DSC_8406	DSC_8407	DSC_8408	DSC_8409	DSC_8410	DSC_8411
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8412	DSC_8413	DSC_8414	DSC_8415	DSC_8416	DSC_8417	DSC_8418	DSC_8419	DSC_8420	DSC_8421
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*11,48*	*9,4*	*11,0*	*10,82*	*9,89*	*11,74*	*10,22*	*11,74*	*10,25*	*11,96*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*9,62*	*11,74*	*10,28*	*11,71*	*10,52*	*9,41*	*9,62*	*10,68*	*8,82*	*10,86*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,2*									

Измерение № 7

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,4*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*3,11*	*2,84*	*3,22*	*2,93*	*3,1*	*3,23*	*3,23*	*3,25*	*3,08*	*3,28*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*2,34*	*2,25*	*2,26*	*2,23*	*2,19*	*2,26*	*2,16*	*2,26*	*2,19*	*2,14*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*2,68*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*3,35*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8422	DSC_8423	DSC_8424	DSC_8425	DSC_8426	DSC_8427	DSC_8428	DSC_8429	DSC_8430	DSC_8431
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8432	DSC_8433	DSC_8434	DSC_8435	DSC_8436	DSC_8437	DSC_8438	DSC_8439	DSC_8440	-
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*11,63*	*11,02*	*10,87*	*11,91*	*13,34*	*11,35*	*11,76*	*11,91*	*11,73*	*12,08*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*13,05*	*12,76*	*14,66*	*12,83*	*12,21*	*13,3*	*12,08*	*11,35*	*11,96*	*0,0*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*12,2*									

Измерение № 8

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,6*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*2,57*	*2,54*	*2,57*	*2,26*	*2,38*	*2,66*	*2,4*	*2,5*	*2,67*	*2,57*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*3,34*	*3,47*	*3,32*	*3,25*	*3,17*	*3,37*	*3,3*	*3,29*	*3,47*	*3,37*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*2,92*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*3,77*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8441	DSC_8442	DSC_8443	DSC_8444	DSC_8445	DSC_8446	DSC_8447	DSC_8448	DSC_8449	DSC_8450
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8451	DSC_8452	DSC_8453	DSC_8454	DSC_8455	DSC_8456	DSC_8457	DSC_8458	DSC_8459	DSC_8460
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*11,79*	*11,09*	*14,61*	*13,97*	*13,14*	*12,48*	*13,51*	*10,3*	*11,58*	*11,79*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*13,85*	*12,37*	*12,59*	*13,21*	*13,14*	*11,96*	*12,98*	*12,37*	*12,93*	*13,85*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*12,68*									

Измерение № *9*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,8*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*3,74*	*3,68*	*3,8*	*3,6*	*3,57*	*3,7*	*3,73*	*3,5*	*3,56*	*3,63*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*2,77*	*2,86*	*2,88*	*2,83*	*2,72*	*2,83*	*2,83*	*2,86*	*2,83*	*2,96*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*3,24*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*4,39*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8461	DSC_8462	DSC_8463	DSC_8464	DSC_8465	DSC_8466	DSC_8467	DSC_8468	DSC_8469	DSC_8470
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8471	DSC_8472	DSC_8473	DSC_8474	DSC_8475	DSC_8476	DSC_8477	DSC_8478	DSC_8479	DSC_8480
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*12,33*	*10,71*	*10,55*	*11,05*	*12,76*	*11,48*	*10,71*	*11,48*	*11,13*	*11,99*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*11,12*	*11,56*	*11,48*	*12,66*	*11,65*	*10,55*	*11,24*	*10,91*	*10,71*	*11,39*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,37*									

Измерение № *10*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*2,0*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*4,0*	*4,04*	*4,1*	*3,8*	*4,27*	*4,04*	*3,98*	*3,87*	*4,1*	*3,96*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*3,35*	*3,33*	*3,14*	*3,35*	*3,06*	*3,26*	*3,08*	*3,26*	*3,18*	*3,27*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*3,62*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*5,29*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8481	DSC_8482	DSC_8483	DSC_8484	DSC_8485	DSC_8486	DSC_8487	DSC_8488	DSC_8489	DSC_8490
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8491	DSC_8492	DSC_8493	DSC_8494	DSC_8495	DSC_8496	DSC_8497	DSC_8498	DSC_8499	DSC_8500
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*12,14*	*11,7*	*10,67*	*10,36*	*11,11*	*11,94*	*11,4*	*11,7*	*11,55*	*11,48*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*10,36*	*10,98*	*12,14*	*12,8*	*11,48*	*10,23*	*9,62*	*10,63*	*11,63*	*11,4*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,27*									

Измерение №____11____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	2,2									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	3,42	3,62	3,67	3,71	3,64	3,73	3,68	3,44	3,45	3,38
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	4,48	4,26	4,26	4,41	4,33	4,41	4,25	4,4	4,15	4,36
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	3,95									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	6,37									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8501	DSC_8502	DSC_8503	DSC_8504	DSC_8505	DSC_8506	DSC_8507	DSC_8508	DSC_8509	DSC_8510
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8511	DSC_8512	DSC_8513	DSC_8514	DSC_8515	DSC_8516	DSC_8517	DSC_8518	DSC_8519	DSC_8520
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	11,82	9,83	9,89	11,34	10,56	10,34	12,4	10,25	11,4	11,11
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	10,76	11,99	10,36	11,25	11,04	10,12	11,69	10,91	12,33	12,13
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	11,08									

Измерение №____12____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	2,4									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	4,14	4,88	4,02	4,06	4,57	4,23	4,24	3,29	3,27	4,93
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	4,26	3,55	4,57	4,54	4,35	4,19	4,06	4,13	4,11	4,34
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	4,19									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	8,38									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8521	DSC_8522	DSC_8523	DSC_8524	DSC_8525	DSC_8526	DSC_8527	DSC_8528	DSC_8529	DSC_8530
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8531	DSC_8532	DSC_8533	DSC_8534	DSC_8535	DSC_8536	DSC_8537	DSC_8538	DSC_8539	DSC_8540
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	11,84	12,15	13,73	12,06	13,73	11,07	12,39	11,65	11,98	12,89
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	11,24	13,92	12,21	12,48	13,19	10,2	10,66	10,25	12,33	11,56
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	12,08									

Измерение № *13*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*2,6*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	*4,36*	*4,66*	*4,45*	*4,49*	*4,5*	*4,72*	*4,2*	*4,0*	*4,09*	*4,17*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	*3,32*	*3,38*	*3,32*	*4,1*	*4,34*	*3,72*	*3,62*	*3,85*	*4,1*	*3,26*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*4,03*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*10,02*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8541	DSC_8542	DSC_8543	DSC_8544	DSC_8545	DSC_8546	DSC_8547	DSC_8548	DSC_8549	DSC_8550
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8551	DSC_8552	DSC_8553	DSC_8554	DSC_8555	DSC_8556	DSC_8557	DSC_8558	DSC_8559	DSC_8560
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	*11,48*	*11,76*	*9,5*	*11,76*	*11,12*	*11,55*	*11,12*	*9,68*	*10,18*	*10,1*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	*10,16*	*11,62*	*10,74*	*9,44*	*11,62*	*12,03*	*11,34*	*11,41*	*11,76*	*12,33*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,04*									

Измерение № *14*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*2,8*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	*3,45*	*3,29*	*3,04*	*3,53*	*3,17*	*3,09*	*2,94*	*2,93*	*3,28*	*2,68*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	*2,74*	*3,62*	*3,64*	*3,57*	*3,8*	*3,55*	*3,62*	*3,96*	*4,26*	*4,17*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*3,42*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*11,97*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8561	DSC_8562	DSC_8563	DSC_8564	DSC_8565	DSC_8566	DSC_8567	DSC_8568	DSC_8569	DSC_8570
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8571	DSC_8572	DSC_8573	DSC_8574	DSC_8575	DSC_8576	DSC_8577	DSC_8578	DSC_8579	DSC_8580
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	*10,68*	*12,61*	*12,37*	*11,48*	*12,07*	*11,79*	*12,41*	*11,79*	*11,54*	*11,74*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	*13,08*	*11,35*	*11,28*	*11,6*	*10,88*	*13,15*	*12,32*	*12,39*	*12,72*	*13,63*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*12,04*									

Измерение № *15*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,0*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*2,69*	*3,0*	*3,47*	*3,25*	*3,37*	*3,12*	*3,41*	*3,53*	*3,19*	*3,44*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*2,37*	*1,91*	*2,14*	*1,66*	*2,17*	*2,19*	*1,9*	*1,69*	*2,35*	*1,82*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*2,63*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*13,49*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8581	DSC_8582	DSC_8583	DSC_8584	DSC_8585	DSC_8586	DSC_8587	DSC_8588	DSC_8589	DSC_8590
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8591	DSC_8592	DSC_8593	DSC_8594	DSC_8595	DSC_8596	DSC_8597	DSC_8598	DSC_8599	DSC_8600
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*11,48*	*13,23*	*10,82*	*10,12*	*12,19*	*11,48*	*10,71*	*12,72*	*12,21*	*12,69*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*10,52*	*12,83*	*10,18*	*12,41*	*11,35*	*11,61*	*11,35*	*12,28*	*11,48*	*12,17*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,69*									

Измерение № *16*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,2*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*0,6*	*0,79*	*1,12*	*0,83*	*1,02*	*0,89*	*0,85*	*1,08*	*0,87*	*0,77*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*1,6*	*1,67*	*1,73*	*1,43*	*1,68*	*1,63*	*1,83*	*1,67*	*1,59*	*1,72*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*1,27*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*15,38*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8601	DSC_8602	DSC_8603	DSC_8604	DSC_8605	DSC_8606	DSC_8607	DSC_8608	DSC_8609	DSC_8610
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8611	DSC_8612	DSC_8613	DSC_8614	DSC_8615	DSC_8616	DSC_8617	DSC_8618	DSC_8619	DSC_8620
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*11,79*	*11,54*	*10,92*	*11,67*	*12,54*	*12,47*	*11,6*	*13,5*	*12,26*	*12,23*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*11,41*	*12,26*	*11,42*	*11,23*	*10,99*	*12,32*	*12,32*	*12,32*	*10,7*	*11,79*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,86*									

Измерение №____17____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	3,4									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	0,768	0,724	0,638	0,335	0,206	0,639	0,513	0,46	0,413	0,416
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	0,275	0,22	0,113	0,112	0,208	0,105	0,224	0,126	0,113	0,00492
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	0,33									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	16,42									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8621	DSC_8622	DSC_8623	DSC_8624	DSC_8625	DSC_8626	DSC_8627	DSC_8628	DSC_8629	DSC_8630
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8631	DSC_8632	DSC_8633	DSC_8634	DSC_8635	DSC_8636	DSC_8637	DSC_8638	DSC_8639	DSC_8640
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	11,61	11,74	13,05	10,58	12,04	11,17	11,61	11,48	10,03	11,41
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	11,17	12,65	11,73	12,32	13,04	11,35	11,73	11,67	12,95	12,48
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	11,79									

Измерение №____18____

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	3,6									
Значения индексов *i* и *j*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	0,00424	0,00314	0,00501	0,0046	0,00357	0,00405	0,00226	0,00234	0,00201	0,0015
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	0,00187	0,00169	0,00201	0,00172	0,00191	0,00207	0,00195	0,00183	0,00205	0,00204
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	0,05									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	16,71									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8642	DSC_8643	DSC_8644	DSC_8645	DSC_8646	DSC_8647	DSC_8648	DSC_8649	DSC_8650	DSC_8651
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8652	DSC_8653	DSC_8654	DSC_8655	DSC_8656	DSC_8657	DSC_8658	DSC_8659	DSC_8660	DSC_8661
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	12,19	12,19	10,23	12,0	13,01	11,17	11,11	12,0	12,9	14,69
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	13,8	12,39	13,72	11,05	11,74	12,66	12,72	13,38	12,52	13,55
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	12,45									

Измерение № *19*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн}$, м	*3,8*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, ГОм	*0,0115*	*0,0102*	*0,0112*	*0,00956*	*0,0135*	*0,0163*	*0,0173*	*0,0239*	*0,00962*	*0,0191*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, ГОм	*0,216*	*0,196*	*0,124*	*0,0884*	*0,0783*	*0,0815*	*0,0756*	*0,0478*	*0,0589*	*0,0576*
Усреднённое значение сопротивления *R*, ГОм	*0,06*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн})$, ГОм	*16,7*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8662	DSC_8663	DSC_8664	DSC_8665	DSC_8666	DSC_8667	DSC_8668	DSC_8669	DSC_8670	DSC_8671
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8672	DSC_8673	DSC_8674	DSC_8675	DSC_8676	DSC_8677	DSC_8678	DSC_8679	DSC_8680	DSC_8681
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, град.	*12,35*	*12,96*	*12,72*	*13,45*	*13,92*	*12,3*	*13,28*	*12,35*	*11,79*	*12,66*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, град.	*12,68*	*11,6*	*11,22*	*12,59*	*13,73*	*12,04*	*12,59*	*13,35*	*11,67*	*13,2*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн})$, град.	*12,62*									

Экспериментальные исследования провели:

Заместитель начальника отдела – начальник отделения планирования организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России, подполковник внутренней службы — А.П. Кармес

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Т.И. Чистяков

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — А.Д. Храмцов

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Е.С. Дводненко

Присутствовали:

Заместитель начальника учебного центра (по учебной работе) – начальник отдела ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Р.А. Черевиченко

Заведующий кабинетом отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — С.Н. Музыченко

«*21*» *мая* 2019 г.

ПРОТОКОЛ № 3

проведения экспериментального исследования

«21» июня 2019 г. (дата составления) 10.00 ч. ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС (время и место составления)

Заместитель начальника отдела – начальник отделения планирования организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России, подполковник внутренней службы Кармес Алексей Петрович

Заместитель начальника учебного центра (по учебной работе) – начальник отдела ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Черевиченко Роман Александрович

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Чистяков Тимур Игоревич

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Храмцов Алексей Дмитриевич

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Дводненко Евгений Сергеевич

Заведующий кабинетом отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Музыченко Сергей Николаевич

(фамилии, имена, отчества должности лиц, проводивших испытания)

к Акту от «21» июня 2019 г. № 1

по результатам проведения экспериментального исследования в период с «19» апреля 2019 г. по «24» апреля 2019 г. по адресу:

Ростовская область, г. Волгодонск, ул. 8-я Заводская, дом 7, Федеральное автономное учреждение дополнительного профессионального образования «Волгодонский учебный центр федеральной противопожарной службы»

(место проведения испытания)

Ход экспериментального исследования:

В соответствии с «Программой и методикой экспериментального исследования сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого», 21.04.2019 г. в период времени с 13 часов 50 минут по 17 часов 20 минут, на территории ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС проведены экспериментальные исследования сопротивления постоянному току струй температурно-активированной воды при подачи их из пожарного ствола дальнобойного для рабочей линии (сопло Лаваля с удлинённой выходной частью) (испытание №3). Экспериментальное исследование проведено при температуре окружающего воздуха 16 - 20 °С и скорости ветра 1 - 3 м/с. Режим работы УПТАВ автомобиля пожарного многоцелевого ТАВ 100.

Результаты измерений и вычислений прилагаются к настоящему протоколу на 19 (девятнадцати) листах (38 страницах).

Экспериментальные исследования провели:

_____А.П. Кармес

_____Т.И. Чистяков

_____А.Д. Храмцов

_____Е.С. Дводненко

Присутствовали:

_____Р.А. Черевиченко

_____С.Н. Музыченко

Результаты измерений и вычислений

Экспериментальное исследование № 3

Тип пожарного ствола для подачи ТАВ Ствол дальнобойный для рабочей линии (сопло Лаваля с удлинённой выходной частью)

Режим УПТАВ ТАВ 100

Расход пожарного ствола для подачи ТАВ *G*, л/с 1,0

Температура недогретой воды на выходе из УПТАВ, °С 175

Расстояние от пожарного ствола для подачи ТАВ до металлического экрана *l*, м 6,0

Шаг длины струи $\Delta l_{полн}$, м 0,3

Максимальное значение сопротивления, измеренное мегаомметром $R_{изол}$, ГОм 8,96

Измерение № 1

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн}$, *м*	*0,3*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, *ГОм*	*3,54*	*3,45*	*3,39*	*3,32*	*3,29*	*3,25*	*3,23*	*3,11*	*3,35*	*3,12*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, *ГОм*	*1,82*	*1,78*	*1,8*	*1,8*	*1,77*	*1,76*	*1,76*	*1,73*	*1,81*	*1,88*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм}$, *ГОм*	*2,55*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн})$, *ГОм*	*2,76*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7846	DSC_7847	DSC_7848	DSC_7849	DSC_7850	DSC_7851	-	DSC_7852	DSC_7853	DSC_7854
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7855	-	DSC_7856	DSC_7857	DSC_7858	DSC_7859	-	DSC_7860	DSC_7861	DSC_7862
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, *град.*	*13,71*	*10,91*	*11,19*	*10,43*	*11,91*	*11,36*	*0,0*	*11,91*	*16,9*	*10,76*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, *град.*	*9,92*	*0,0*	*11,96*	*10,87*	*10,63*	*11,27*	*0,0*	*10,37*	*12,68*	*11,7*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн})$, *град.*	*11,5*									

Измерение № 2

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн}$, *м*	*0,6*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,i}$, *ГОм*	*2,25*	*2,4*	*2,42*	*2,29*	*2,32*	*2,11*	*2,45*	*2,27*	*2,19*	*3,90*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм,j}$, *ГОм*	*3,91*	*3,98*	*4,03*	*4,11*	*3,87*	*3,88*	*3,94*	*3,84*	*3,85*	*3,85*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм}$, *ГОм*	*3,19*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн})$, *ГОм*	*3,3*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7863	DSC_7864	DSC_7865	DSC_7866	DSC_7867	DSC_7868	DSC_7869	DSC_7870	DSC_7871	-
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7872	-	DSC_7873	DSC_7874	-	DSC_7875	DSC_7876	DSC_7877	DSC_7878	DSC_7879
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,i}$, *град.*	*8,88*	*10,93*	*10,25*	*11,67*	*9,56*	*13,62*	*10,56*	*13,86*	*10,5*	*0,0*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм,j}$, *град.*	*10,1*	*0,0*	*11,65*	*10,8*	*0,0*	*12,6*	*11,27*	*11,14*	*12,14*	*10,37*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн})$, *град.*	*11,17*									

Измерение № 3

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	0,9									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	2,81	2,69	2,82	2,88	2,76	2,78	2,84	3,15	2,7	2,8
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	4,5	4,4	4,44	4,44	4,48	4,68	4,34	4,27	4,45	4,25
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	3,62									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	4,09									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7880	DSC_7881	DSC_7882	DSC_7883	DSC_7884	DSC_7885	DSC_7886	DSC_7887	DSC_7888	DSC_7889
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7890	DSC_7891	DSC_7892	DSC_7893	DSC_7894	DSC_7895	DSC_7896	DSC_7897	DSC_7898	DSC_7899
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	11,02	9,12	7,68	9,22	11,4	10,22	11,05	10,52	9,86	9,16
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	11,01	10,43	8,29	10,05	12,86	9,45	9,78	8,82	8,77	10,28
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	9,95									

Измерение № 4

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	1,2									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	4,88	4,67	5,08	4,72	4,95	4,34	4,77	4,88	4,7	5,16
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	3,22	3,11	3,17	2,91	3,27	3,2	3,29	3,22	3,4	3,14
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	4,0									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	4,59									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7915	DSC_7916	DSC_7917	DSC_7918	DSC_7919	DSC_7920	DSC_7921	DSC_7922	DSC_7923	DSC_7924
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7925	DSC_7926	DSC_7927	DSC_7928	DSC_7929	DSC_7930	DSC_7931	DSC_7932	-	-
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	10,64	9,12	12,97	12,88	10,76	9,07	9,79	10,35	8,75	11,28
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	10,58	10,06	10,4	11,54	10,1	10,28	10,96	9,72	0,0	0,0
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	10,51									

Измерение № 5

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,5*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*3,52*	*3,8*	*3,55*	*3,91*	*3,91*	*3,78*	*3,93*	*3,98*	*3,93*	*3,96*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*5,23*	*5,4*	*5,29*	*5,18*	*5,45*	*5,51*	*5,29*	*5,54*	*5,42*	*5,18*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*4,59*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*5,41*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7933	DSC_7934	DSC_7935	DSC_7936	DSC_7937	DSC_7938	DSC_7939	DSC_7940	DSC_7941	DSC_7942
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7943	DSC_7944	-	DSC_7945	DSC_7946	DSC_7947	DSC_7948	-	DSC_7949	DSC_7950
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*10,1*	*11,53*	*8,89*	*0,0*	*0,0*	*9,82*	*9,65*	*9,75*	*11,95*	*13,23*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*10,25*	*11,88*	*0,0*	*12,55*	*11,48*	*10,33*	*10,12*	*0,0*	*10,74*	*10,3*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*10,79*									

Измерение № 6

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*1,8*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*5,88*	*6,02*	*5,88*	*5,95*	*5,92*	*6,02*	*6,08*	*5,88*	*5,92*	*5,09*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*4,14*	*4,09*	*4,29*	*4,14*	*4,12*	*4,02*	*4,23*	*4,09*	*4,07*	*4,2*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*5,04*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*6,07*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7951	DSC_7952	DSC_7953	DSC_7954	DSC_7955	DSC_7956	DSC_7957	DSC_7958	DSC_7959	DSC_7960
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7961	-	DSC_7962	DSC_7963	DSC_7964	-	DSC_7965	DSC_7966	DSC_7967	DSC_7968
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*0,0*	*12,5*	*10,33*	*11,72*	*9,29*	*10,03*	*10,58*	*10,4*	*12,41*	*15,57*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*10,11*	*0,0*	*10,31*	*10,07*	*9,96*	*0,0*	*10,39*	*9,89*	*11,07*	*8,66*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*10,78*									

Измерение № 7

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	2,1									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	7,15	6,88	6,92	6,78	6,85	6,8	7,06	6,85	6,85	6,64
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	5,03	4,95	5,0	5,15	5,12	5,2	5,05	5,15	5,36	5,05
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	5,99									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	7,6									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7969	DSC_7970	DSC_7971	DSC_7972	DSC_7973	DSC_7974	DSC_7975	DSC_7976	DSC_7977	DSC_7978
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7979	DSC_7980	-	DSC_7981	DSC_7982	-	DSC_7983	DSC_7984	DSC_7985	DSC_7986
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	10,25	11,91	13,11	9,15	11,12	9,49	9,85	11,73	10,49	9,34
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	9,7	11,3	0,0	10,89	9,81	0,0	10,43	10,41	9,71	10,91
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	10,53									

Измерение № 8

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	2,4									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	5,76	6,05	5,88	6,09	5,76	6,17	5,94	5,8	6,2	6,13
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	7,62	7,74	7,85	7,89	7,94	7,94	7,91	7,91	8,06	8,06
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	6,94									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	9,41									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7987	DSC_7988	DSC_7989	DSC_7990	DSC_7991	DSC_7992	DSC_7993	DSC_7994	DSC_7995	DSC_7996
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_7997	DSC_7998	DSC_7999	DSC_8000	DSC_8001	DSC_8002	DSC_8003	DSC_8004	DSC_8005	DSC_8006
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	11,78	9,76	9,89	10,68	10,87	11,09	12,2	10,1	10,17	10,23
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	11,91	11,56	10,14	10,81	10,12	11,0	10,47	15,52	11,42	11,65
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	11,07									

Измерение № *9*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*2,7*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*8,82*	*8,53*	*8,73*	*8,76*	*8,85*	*8,73*	*8,63*	*8,81*	*8,66*	*8,5*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*6,8*	*6,63*	*6,34*	*6,76*	*6,73*	*6,6*	*6,76*	*6,93*	*6,73*	*6,8*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*7,71*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*11,23*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8007	DSC_8008	DSC_8009	DSC_8010	DSC_8011	DSC_8012	DSC_8013	DSC_8014	DSC_8015	DSC_8016
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8017	DSC_8018	DSC_8019	DSC_8020	DSC_8021	DSC_8022	DSC_8023	DSC_8024	DSC_8025	DSC_8026
Измеренное значение угла раскрытия струи $a_{изм.i}$, град.	*10,91*	*10,2*	*12,57*	*9,21*	*11,59*	*11,98*	*10,73*	*10,74*	*9,7*	*12,35*
Измеренное значение угла раскрытия струи $a_{изм.j}$, град.	*12,39*	*10,86*	*10,01*	*9,49*	*9,76*	*0,0*	*13,82*	*11,88*	*11,95*	*10,55*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $a(l_{полн.})$, град.	*11,09*									

Измерение № *10*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,0*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*7,25*	*7,4*	*7,6*	*7,25*	*7,49*	*7,45*	*7,32*	*7,4*	*7,45*	*7,53*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*9,24*	*9,2*	*9,34*	*9,32*	*9,4*	*9,23*	*9,15*	*9,28*	*9,5*	*9,34*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*8,36*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*13,28*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8007	DSC_8008	DSC_8009	DSC_8010	DSC_8011	DSC_8012	DSC_8013	DSC_8014	DSC_8015	DSC_8016
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8017	DSC_8018	DSC_8019	DSC_8020	DSC_8021	DSC_8022	DSC_8023	DSC_8024	DSC_8025	DSC_8026
Измеренное значение угла раскрытия струи $a_{изм.i}$, град.	*10,12*	*9,77*	*10,97*	*10,03*	*12,3*	*12,13*	*10,76*	*10,2*	*13,66*	*11,65*
Измеренное значение угла раскрытия струи $a_{изм.j}$, град.	*13,51*	*11,12*	*11,07*	*11,15*	*10,99*	*11,3*	*11,65*	*11,53*	*10,97*	*10,95*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $a(l_{полн.})$, град.	*11,29*									

Измерение № *11*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,3*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*9,58*	*9,6*	*9,4*	*9,91*	*9,55*	*9,96*	*9,6*	*10,11*	*9,86*	*9,6*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*8,48*	*8,12*	*7,86*	*7,91*	*7,97*	*7,91*	*7,2*	*7,84*	*7,81*	*7,98*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*8,81*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*15,6*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8047	DSC_8048	DSC_8049	DSC_8050	DSC_8051	DSC_8052	DSC_8053	DSC_8054	DSC_8055	DSC_8056
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8057	DSC_8058	DSC_8059	DSC_8060	DSC_8061	DSC_8062	DSC_8063	DSC_8064	DSC_8065	DSC_8066
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*11,48*	*10,12*	*10,43*	*13,4*	*12,54*	*13,85*	*12,58*	*10,06*	*11,27*	*11,55*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*11,58*	*10,86*	*15,28*	*12,01*	*10,63*	*10,91*	*10,02*	*10,33*	*12,34*	*11,67*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,65*									

Измерение № *12*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,6*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*8,22*	*9,8*	*10,11*	*8,32*	*7,51*	*7,81*	*9,7*	*8,12*	*9,29*	*7,86*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*10,0*	*9,91*	*9,98*	*7,56*	*9,75*	*9,86*	*7,91*	*9,75*	*8,22*	*9,75*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*8,96*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*17,92*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8067	DSC_8068	DSC_8069	DSC_8070	DSC_8071	DSC_8072	DSC_8073	DSC_8074	DSC_8075	DSC_8076
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8077	DSC_8078	DSC_8079	DSC_8080	DSC_8081	DSC_8082	DSC_8083	DSC_8084	DSC_8085	DSC_8086
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*11,6*	*0,0*	*11,26*	*11,93*	*15,62*	*11,41*	*11,06*	*12,03*	*9,08*	*8,97*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*13,75*	*9,89*	*11,0*	*9,46*	*10,41*	*12,05*	*13,25*	*9,56*	*11,96*	*11,75*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,37*									

Измерение № *13*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*3,9*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*8,0*	*8,08*	*7,48*	*7,65*	*7,66*	*7,76*	*7,86*	*7,84*	*7,97*	*7,91*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*9,75*	*9,7*	*9,8*	*9,69*	*9,57*	*9,8*	*9,86*	*9,6*	*9,73*	*9,88*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*8,78*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*20,46*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8112	DSC_8113	DSC_8114	DSC_8115	DSC_8117	DSC_8118	DSC_8119	DSC_8120	DSC_8121	DSC_8122
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8123	DSC_8124	DSC_8125	DSC_8126	DSC_8127	DSC_8128	DSC_8129	DSC_8130	DSC_8131	DSC_8132
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*11,72*	*12,21*	*10,52*	*13,92*	*9,41*	*10,01*	*11,76*	*9,66*	*10,43*	*11,86*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*11,1*	*12,03*	*12,76*	*10,92*	*11,3*	*12,39*	*10,63*	*10,63*	*8,82*	*13,38*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,27*									

Измерение № *14*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*4,2*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*8,86*	*8,85*	*8,94*	*9,11*	*8,77*	*8,98*	*9,11*	*8,77*	*8,98*	*8,85*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*6,89*	*7,0*	*6,77*	*6,94*	*6,64*	*6,77*	*6,72*	*6,77*	*6,98*	*6,64*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*7,87*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*24,17*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8142	DSC_8143	DSC_8144	DSC_8145	DSC_8146	DSC_8147	DSC_8148	DSC_8149	DSC_8150	DSC_8151
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8152	DSC_8153	DSC_8154	DSC_8155	DSC_8156	DSC_8157	DSC_8158	DSC_8159	DSC_8160	DSC_8161
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*11,13*	*10,95*	*10,23*	*9,76*	*11,23*	*11,32*	*11,66*	*10,63*	*9,81*	*15,23*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*9,89*	*8,9*	*10,25*	*12,69*	*9,89*	*9,67*	*9,67*	*10,97*	*11,40*	*10,97*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*10,81*									

Измерение № *15*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*4,5*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*5,28*	*5,23*	*5,38*	*5,28*	*5,18*	*5,18*	*5,02*	*5,23*	*5,18*	*5,07*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*7,35*	*7,45*	*7,45*	*7,6*	*7,27*	*7,32*	*7,66*	*7,35*	*7,27*	*7,27*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*6,3*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*27,68*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8162	DSC_8163	DSC_8164	DSC_8165	DSC_8166	DSC_8167	DSC_8168	DSC_8169	DSC_8170	DSC_8171
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8172	DSC_8173	DSC_8174	DSC_8175	DSC_8176	DSC_8177	DSC_8178	DSC_8179	DSC_8180	DSC_8181
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*13,49*	*12,48*	*11,7*	*12,1*	*10,31*	*9,51*	*12,72*	*11,82*	*10,7*	*10,46*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*11,67*	*9,83*	*9,51*	*11,24*	*9,85*	*10,63*	*9,40*	*9,24*	*12,82*	*9,3*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*10,94*									

Измерение № *16*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*4,8*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*5,24*	*5,16*	*5,37*	*4,9*	*5,25*	*5,1*	*5,37*	*5,14*	*5,08*	*5,12*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*3,41*	*3,43*	*3,2*	*3,03*	*3,31*	*3,22*	*3,22*	*2,96*	*3,25*	*2,91*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*4,18*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*31,01*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8182	DSC_8183	DSC_8184	DSC_8185	DSC_8186	DSC_8187	DSC_8188	DSC_8189	DSC_8190	DSC_8191
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8192	DSC_8193	DSC_8194	DSC_8195	DSC_8196	DSC_8197	DSC_8198	DSC_8199	DSC_8200	DSC_8201
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*10,69*	*11,97*	*12,62*	*10,85*	*10,83*	*11,35*	*11,22*	*10,96*	*11,18*	*10,09*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*13,1*	*11,79*	*10,84*	*17,47*	*11,14*	*9,99*	*14,56*	*11,39*	*8,5*	*9,01*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,48*									

Измерение № *17*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*5,1*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*2,24*	*2,26*	*2,38*	*2,2*	*1,96*	*2,07*	*2,28*	*2,12*	*2,03*	*2,24*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*3,75*	*3,88*	*3,91*	*3,88*	*3,8*	*3,75*	*3,57*	*3,88*	*3,81*	*3,85*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*2,99*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*32,55*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8201	DSC_8202	DSC_8203	DSC_8204	DSC_8205	DSC_8206	DSC_8207	DSC_8208	DSC_8209	DSC_8210
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8211	DSC_8212	DSC_8213	DSC_8214	DSC_8215	DSC_8216	DSC_8217	DSC_8218	DSC_8219	DSC_8220
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*12,11*	*10,64*	*11,16*	*9,71*	*10,97*	*11,73*	*9,21*	*12,11*	*9,95*	*12,12*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*11,12*	*11,1*	*9,99*	*10,1*	*9,5*	*12,23*	*11,82*	*10,92*	*10,23*	*9,08*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*10,79*									

Измерение № *18*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*5,4*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*2,528*	*1,38*	*1,076*	*0,573*	*0,593*	*0,392*	*0,558*	*0,2005*	*0,0252*	*0,00521*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*0,00762*	*0,00629*	*0,00433*	*0,00506*	*0,00518*	*0,00398*	*0,00615*	*0,00457*	*0,00555*	*0,00586*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*0,37*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*35,47*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8240	DSC_8241	DSC_8242	DSC_8243	DSC_8244	DSC_8245	DSC_8246	DSC_8247	DSC_8248	DSC_8249
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8250	DSC_8251	DSC_8252	DSC_8253	DSC_8254	DSC_8255	DSC_8256	DSC_8257	DSC_8258	-
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*9,62*	*9,89*	*10,26*	*9,34*	*12,48*	*11,69*	*12,21*	*12,45*	*8,68*	*10,54*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*11,75*	*11,02*	*11,48*	*12,18*	*9,0*	*9,72*	*12,82*	*11,6*	*12,85*	*0,0*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,03*									

Измерение № *19*

Расстояние от среза сопла ствола до сетчатого зонда $l_{полн.}$, м	*5,7*									
Значения индексов *i* и *j*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.i}$, ГОм	*0,0105*	*0,011*	*0,00679*	*0,0128*	*0,0126*	*0,00655*	*0,0164*	*0,0166*	*0,0153*	*0,0183*
Измеренное значение сопротивления $R_{изм.j}$, ГОм	*0,00479*	*0,00529*	*0,00504*	*0,011*	*0,0114*	*0,0111*	*0,0116*	*0,0113*	*0,00645*	*0,0104*
Усреднённое значение сопротивления $R_{изм.}$, ГОм	*0,01*									
Вычисленное значение сопротивления $R(l_{полн.})$, ГОм	*35,83*									
Имя файла *i* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8259	DSC_8260	DSC_8261	DSC_8262	DSC_8263	DSC_8264	DSC_8265	DSC_8266	DSC_8267	DSC_8268
Имя файла *j* фотоснимка струи ТАВ	DSC_8269	DSC_8270	DSC_8271	DSC_8272	DSC_8273	DSC_8274	DSC_8275	DSC_8276	DSC_8277	DSC_8278
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.i}$, град.	*10,9*	*11,39*	*10,31*	*11,09*	*10,51*	*13,94*	*8,97*	*13,78*	*12,19*	*13,08*
Измеренное значение угла раскрытия струи $\alpha_{изм.j}$, град.	*11,48*	*17,49*	*11,33*	*11,61*	*11,69*	*11,14*	*9,71*	*11,78*	*9,96*	*11,41*
Усреднённое значение угла раскрытия струи $\alpha(l_{полн.})$, град.	*11,69*									

Экспериментальные исследования провели:

Заместитель начальника отдела – начальник отделения планирования организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России, подполковник внутренней службы — А.П. Кармес

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Г.И. Чистяков

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — А.Д. Храмцов

Преподаватель отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Е.С. Дводненко

Присутствовали:

Заместитель начальника учебного центра (по учебной работе) – начальник отдела ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — Р.А. Черевиченко

Заведующий кабинетом отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС — С.Н. Музыченко

«21» июня 2019 г.

Приложение Г

(обязательное)

ДАННЫЕ КОНДУКТОМЕТРИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УДЕЛЬНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПРОБЫ ВОДЫ ИЗ ГИДРАНТА НА ТЕРРИТОРИИ ФАУ ДПО ВОЛГОДОНСКИЙ УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ФПС

Муниципальное унитарное предприятие муниципального образования «г. Волгодонск» «Водоканал»
КОНТРОЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ЦЕНТР
Адрес места осуществления деятельности: 347340 г. Волгодонск, Жуковское шоссе 3, тел 26-82-57

Сведения № 022-5-2 от 04.09.2019 г.

о результатах испытании пробы воды

1. Наименование объекта испытаний Питьевая вода

2. Наименование предприятия, организации (заявитель): ФАО ДПО Волгодонской учебный центр ФПС

3. Дата регистрации заявки 03.09.2019 г.

4. Место отбора пожарный гидрант на территории ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС г. Волгодонск ул. 8-я Заводская 7

5. Дата отбора пробы 04.09.2019 г.

6. Дата поступления пробы 04.09.2019 г.

7. Дата начала и окончания испытаний 04.08.2019 г. - 04.09.2019 г.

8. Дополнительные сведения Проба отобрана заказчиком, доставлена в лабораторию 04.09.2019г.

9. Средства измерений, используемые для проведения испытаний:

№ п/п	Наименование СИ, тип, марка	Заводской №	Инв №	Год ввода в эксплуатацию	Свидетельство о поверке, номер	Дата следующей поверки
1	Кондуктометр/солемер АНИОН 7020	174	37423	2006	№ 06.0194214.18 от 12.09.2018г.	11.09.2019 г.

10. Результаты испытаний:

№ п/п	Определяемые показатели, ед. измерения	Наименование НД, регламентирующего методику проведения испытаний	Результаты анализа	
			Содержание	±Δ
1	Удельная электропроводность, См/м	Руководство по эксплуатации «Кондуктометр/солемер Анион 7020»	$312*10^{-4}$	$12,5*10^{-4}$

11. Результат анализа распространяется на пробу, доставленную заказчиком.

Начальник КАЛЦ Е.В. Соловьева

Приложение Д

(обязательное)

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ФАУ ДПО Волгодонский
учебный центр ФПС

_____А.Н. Кудрин

«01» октября 2019 г.

АКТ

внедрения результатов теоретико-экспериментального исследования диссертационной работы соискателя учёной степени кандидат технических наук Академии ГПС МЧС России, преподавателя ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Чистякова Тимура Игоревича

Комиссия в составе:
Заместитель начальника учебного центра (по учебной работе) – начальник отдела Черевиченко Р.А.
Преподаватель отделения специальных дисциплин Храмцов А.Д.
Специалист по охране труда учебного центра Ильин П.С.

Составила настоящий акт о том, что материалы диссертационной работы Чистякова Т.И. по определению возможности тушения электроустановок (далее – ЭУ) под напряжением температурно-активированной водой (далее – ТАВ) были использованы при обучении слушателей ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС методике безопасного и эффективного тушения пожаров класса Е.

При использовании новой методики тушения пожаров класса Е ТАВ были проведены практические занятия по отработке навыков тушения ЭУ под напряжением всеми типами пожарных стволов Многоцелевого пожарно-спасательного автомобиля с установкой пожаротушения ТАВ (АПМ 3 – 2/40 – 1,38/100 – 100 (43118) мод. – ПиРо 3 – МПЗ) (далее – АПМ).

Полученные результаты диссертационной работы могут быть применены при разработке рекомендаций по тушению ЭУ под напряжением до и свыше 1000В пожарными стволами АПМ с подачей струй ТАВ.

_____ Черевиченко Р.А.

_____Храмцов А.Д.

_____Ильин П.С.

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер филиала
АО «Концерн Росэнергоатом»
«Ростовская атомная станция»
А.В. Катунин
_____А.Б. Горбунов
«__» сентября 2019 г.
М.П.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук, преподавателя отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО «Волгодонский учебный центр ФПС» Чистякова Тимура Игоревича на тему: «Применение температурно-активированной воды при тушении пожаров электроустановок под напряжением»

Комиссия филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция» в составе:

Заместителя Главного инженера	Катунина А.В.
Начальника электрического цеха	Хрипкова Г.И.
Начальника учебно-тренировочного подразделения	Попова В.М.

Составила настоящий акт о том, что при повышении квалификации персонала электрического цеха Ростовской АЭС были использованы результаты исследования по определения возможности применения струй температурно-активированной воды для тушения электроустановок под напряжением до и свыше 1 кВ на объектах энергетики из диссертации Чистякова Т.И.

При повышении квалификации по программе «Пожарно-технический минимум для оперативного персонала АЭС по тушению на электроустановках, находящихся под напряжением», персонал электрического цеха Ростовской АЭС был ознакомлен с новой методикой и возможностями применения струй температурно-активированной воды для безопасного и эффективного тушения пожаров класса Е.

Результаты, полученные в диссертации Чистякова Т.И., могут быть использованы при разработке методических рекомендаций по тушению отдельных видов электроустановок на объектах АЭС.

Заместитель главного инженера	А.В.Катунин
Начальник электрического цеха	Г.И. Хрипков
Начальник учебно-тренировочного подразделения	В.М. Попов

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель агентства
государственной противопожарной
службы и гражданской защиты
Архангельской области

_____ А.В. Уваров

«16» октября 2019 г.

АКТ

внедрения результатов теоретико-экспериментального исследования диссертационной работы соискателя учёной степени кандидат технических наук Академии ГПС МЧС России, преподавателя ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС Чистякова Тимура Игоревича

Комиссия в составе:

Начальника ГКУ Архангельской области «Центр ГЗ» Дерягина М.А..

Заместителя начальника ГКУ Архангельской области «Центр ГЗ» Кремлёва К.В.

Генерального директора НПО «ТЭВС» Малыгина А.Б.

Составила настоящий акт о том, что при определении возможности тушения электроустановок (далее – ЭУ) под напряжением температурно-активированной водой (далее – ТАВ) была применена разработанная Чистяковым Т.И. методика безопасного и эффективного тушения пожаров класса Е.

При использовании новой методики тушения пожаров класса Е ТАВ был проделан пробный эксперимент по тушению электрического щита ШРС 1-04-7-31-У3-001 под напряжением 380В всеми типами пожарных стволов Многоцелевого пожарно-спасательного автомобиля с установкой пожаротушения ТАВ (АПМ 3 – 2/40 – 1,38/100 – 100 (43118) мод. – ПиРо 3 – МПЗ) (далее – АПМ). Результаты пробного эксперимента показали безопасность новой методики тушения пожаров класса Е всеми типами пожарных стволов АПМ ТАВ. Применение ТАВ перспективно не только для безопасного и эффективного тушения пожаров ЭУ под напряжением, но и для тушения пожаров класса А, В, С, пожарной нагрузкой которых, являются изоляционные материалы ЭУ.

_____ Дерягин М.А.

_____ Кремлёв К.В.

_____ Малыгин А.Б.

Генеральный директор
ООО «МПЗ»
_____ Б.Р. Бейзерман
«15» _____ 2020 г.

АКТ
внедрения результатов диссертационной работы на соискание учёной степени кандидата технических наук Академии ГПС МЧС России, преподавателя отделения специальных дисциплин ФАУ ДПО «Волгодонский учебный центр ФПС» Чистякова Тимура Игоревича
на тему: «Применение температурно-активированной воды при тушении пожаров электроустановок под напряжением на объектах энергетики»

Комиссия в составе: технического директора Блохина Игоря Викторовича, главного инженера Воронова Сергея Викторовича и начальника сборочного цеха Гасанова Сергей Мусаевича подтверждает, что результаты диссертационной работы Чистякова Тимура Игоревича, использованы при модернизации конструкции и оптимизации режимов работы модельного ряда многоцелевых пожарно-спасательного автомобилей с установкой пожаротушения температурно-активированной водой, с целью безопасного тушения электроустановок под напряжением (пожары класса «Е»).

Комиссия:

Технический директор
ООО «МПЗ» И.В. Блохин

Главный инженер С.В. Воронов

Начальник сборочного цеха
ООО «МПЗ» С.М. Гасанов