

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки «Электроника и микроэлектроника»
Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние материала электродов на отключающую способность вакуумной дугогасительной камеры

УДК 621.316.542.064:621.3.032.2-03

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ61	Марал Думан Дуйсенулы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Шнайдер Антон Витальевич	кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Старикова Екатерина Васильевна	кандидат философских наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Ахмеджанов Рафик Равильевич	доктор биологических наук, профессор		

По разделу на английском языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ведущий тестолог	Парнюгин Александр Сергеевич	кандидат педагогических наук, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедения	Клименов Василий Александрович	доктор технических наук		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО НИР

Код результата	Результат обучения
Универсальные компетенции	
P1	Способность <i>совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный и общекультурный уровень</i> , добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Способность <i>использовать иностранный язык в профессиональной сфере</i> .
P3	Способность применять на практике <i>навыки и умения в организации</i> научно-исследовательских и производственных работ, в <i>управлении коллективом</i> , использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности
P4	Способность использовать методологические основы <i>научного познания и творчества</i> , научную информацию в развитии отрасли, навыки проведения работ с использованием <i>современных информационных технологий</i> ; синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	Способность применять <i>углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Способность <i>ставить и решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности
P7	Способность выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Способность выполнять инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Способность проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Способность проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Способность осваивать <i>новое</i> электроэнергетическое и электротехническое <i>оборудование</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Способность разрабатывать <i>рабочую проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; <i>составлять оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) «электроника и наноэлектроника»
Кафедра высоковольтной электрофизики и силовой электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ61	Марал Думан Дуйсенулы

Тема работы:

Влияние материала электродов на отключающую способность вакуумной дугогасительной камеры

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Объект исследования – отключающая способность вакуумной дугогасительной камеры.</i>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. <i>Общий принцип работы вакуумной дугогасительной камеры.</i>2. <i>Конструктивные особенности экспериментального стенда на основе Вейлю-Доббке.</i>3. <i>Изучение физических процессов, протекающих в вакуумной дугогасительной камере при гашении силовой вакуумной дуги.</i>4. <i>Изучение зондового метода диагностики плазмы применительно к импульсному разряду.</i>5. <i>Особенности двумерной системы одиночных цилиндрических зондов Ленгмюра.</i>6. <i>Восстановление концентрации плазмы в разрядном промежутке в момент перехода тока</i>

	через ноль. 7. Влияние материала контактных пар на отключающую способность разрядного промежутка.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация, выполненная в MS PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Ахмеджанов Рафик Равильевич
Финансовый менеджмент	Старикова Екатерина Васильевна
Раздел на английском языке	Парнюгин Александр Сергеевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Шнайдер Антон Витальевич	кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ61	Марал Думан Дуйсенулы		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: «Электроника и наноэлектроника» 11.04.04
Уровень образования: магистр
Кафедра ВЭСЭ
Период выполнения: 2017/2018 учебный год

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01/05/2018	<i>Основная часть</i>	60
05/05/2018	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	15
15/05/2018	<i>Социальная ответственность</i>	10
30/05/2018	<i>Обязательное приложение на иностранном языке</i>	15
		<i>Сумма: 100 баллов</i>

Составил руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Шнайдер Антон Витальевич	Кандидат технических наук		

СОГЛАСОВАНО:

	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Яковлев Виктор Юрьевич	доктор физико-математических наук, профессор		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа написана на 101 странице, включая 29 иллюстраций, 17 таблиц, 39 источников литературы, 1 приложение.

Ключевые слова: вакуумные выключатели, отключение тока, вакуумная дугогасительная камера, одиночные зонды Ленгмюра, двойные зонды Ленгмюра, концентрация плазмы, катодное пятно, электронно-лучевая наплавка.

Объектами исследования является плазма дугового разряда и отключающая способность вакуумной дугогасительной камеры.

Целью работы является исследование параметров плазмы сильноточной вакуумной дуги в разрядном промежутке, а также влияние материала электродов на отключающую способность вакуумной дугогасительной камеры.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ,
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Данная работа имеет следующие термины с определениями:

Разрядный промежуток: область проводимости между двумя электродами газоразрядного прибора.

Вакуумная дуга – это сильноточный (несколько ампер - десятки килоампер) и низковольтный (десятки вольт) электрический разряд между двумя металлическими контактами в вакууме.

Катодное пятно - ярко светящееся пятно на поверхности катода.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

ВДК – вакуумная дугогасительная камера;

ПВН – переходное восстанавливающееся напряжение;

VCB (vacuum circuit breaker) – вакуумный выключатель;

Оглавление

Введение	10
Глава 1. Физические основы выключателей	12
1.1 Общие сведения о вакуумных выключателях.....	12
1.2 Виды вакуумных дугогасительных камер	13
1.3 Отключающая способность вакуумных дугогасительных камер.....	15
1.4 Теория коммутации токов в вакууме.....	16
1.5 Контактные материалы	19
Глава 2. Экспериментальное оборудование	25
2.1 Экспериментальная установка	25
2.1.1 Сильноточный контур	25
2.1.2 Высоковольтный контур.....	27
2.2. Методика проведения экспериментов.....	32
2.2.1. Методы исследования двойным зондом	32
2.2.2. Методы исследования одиночными зондами	33
2.2.3. Синтетические испытания вакуумных выключателей с наплавленными контактами. 34	
Глава 3. Результаты экспериментальных исследований	36
3.1. Исследование параметров плазмы в разрядном промежутке зондовым методом.....	36
3.1.1 Результаты двойного зонда	36
3.1.2 Результаты исследований одиночными зондами	40
3.2. Влияние свойств контактных материалов на отключающую способность.....	47
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54
Введение	54
4.1 Предпроектный анализ	55
4.1.1 Потенциальные потребители результатов НТИ	55
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	56
4.2 SWOT-анализ	58
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	60
4.3.1 Контрольные события проекта.....	60
4.3.2 План проекта	60
4.4 Определение трудоемкости работ	62
4.5 Бюджет научного исследования.....	64
5. Социальная ответственность	73
Введение	73

5.1 Производственная безопасность	74
5.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды	74
5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов производственной среды	79
5.2 Экологическая безопасность	84
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
Заключение	86
Список публикаций студента.....	87
Список использованных источников	88
Приложение А	92

Введение

Первые разработки вакуумных выключателей были начаты в 30-е годы XX века, действующие модели могли отключать небольшие токи при напряжениях до 10 кВ. Достаточно мощные вакуумные выключатели в те годы так и не были созданы из-за несовершенства технологии изготовления вакуумной аппаратуры и, прежде всего, из-за возникших в то время технических трудностей по поддержанию глубокого вакуума в герметизированной камере.

Для создания надежно работающих вакуумных дугогасительных камер, способных отключать большие токи при высоком напряжении электрической сети, потребовалось выполнить обширную программу исследовательских работ. В ходе проведения этих работ примерно к 1957 г. были выявлены и научно объяснены основные физические процессы, происходящие при горении дуги в вакууме.

Переход от единичных опытных образцов вакуумных выключателей к их серийному промышленному производству занял ещё два десятилетия, поскольку потребовал проведения дополнительных интенсивных исследований и разработок, направленных, в частности, на отыскание эффективного способа предотвращения опасных коммутационных перенапряжений, возникавших из-за преждевременного обрыва тока до его естественного перехода через ноль, на решение сложных проблем, связанных с распределением напряжения и загрязнением внутренних поверхностей изоляционных деталей осаждавшимися на них парами металла, проблем экранирования и создания новых высоконадежных сильфонов и др.

На данный момент ученые работают над ответом на все эти вопросы. Несмотря на сложности при конструированиях и проблемах внутренней цепи, ученым удалось достичь неплохих результатов в этой области. Многочисленные исследования и работы над улучшением вакуумного выключателя сделали этот тип выключателя основным, так как по

характеристикам они имеют ряд преимуществ над другими видами выключателей.

Появились разные конструкции и методы для исследования вакуумных выключателей. И возрос большой интерес к контактному материалу, так как отключающая способность выключателя напрямую зависит от материала контакта.

Хороший контактный материал для вакуумного выключателя должен соответствовать определенным требованиям. Но порой эти многочисленные нужные качества оказываются противоречивыми. Поэтому необходимо находить приемлемый компромисс для конкретного вида применения в соответствии с выбором приоритетных свойств. В настоящее время наибольший компромисс достигается при использовании композитов, и наиболее широко для автоматических выключателей применяются CuCr-композиты. Композиты семейства CuCr зарекомендовали себя как лучшие материалы для автоматических выключателей и, похоже, в ближайшее время не будут вытеснены какими-либо другими материалами, несмотря на то, что исследования и разработки в этой области продолжаются. Используемые пропорции составляют 50 - 80 % для меди, остальной процент - для хрома. Высокое содержание меди благоприятно влияет на удельную электрическую проводимость (низкое переходное сопротивление контакта) и на удельную теплопроводность (хороший отвод энергии дуги). Высокое содержание хрома благоприятно влияет на стойкость при сварке и электрическую прочность под действием повышенного напряжения.

Но важно не только содержащиеся компоненты, но и их способ соединения. Поэтому вопрос о методе изготовления контактных материалов все еще актуален. В нашей работе мы рассматриваем контакты, изготовленные методом электронно-лучевой наплавки и проведем анализ на отключающую способность. Этот метод получения контактного материала занимает больше времени и требует контроля за процессом. Подробно об этом описано в главе 2.

Глава 1. Физические основы выключателей

1.1 Общие сведения о вакуумных выключателях

Как известно, основным коммутационным аппаратом в электрических установках, служащим для включения и отключения электрических цепей высокого напряжения в нормальных и аварийных режимах является выключатель. Наиболее тяжёлая и ответственная операция, выполняемая им – это отключение токов короткого замыкания. При этом выключатель должен удовлетворять ряду основных требований [1,2]:

- надёжное отключение токов любого значения – от десятков ампер до номинального тока отключения;
- быстродействие, т.е. наименьшее время отключения;
- пригодность для автоматического повторного включения, быстрое включение выключателя сразу же после отключения;
- удобство ревизии и обслуживания;
- взрыво- и пожаробезопасность.

Достоинства и недостатки различных типов выключателей определяются, прежде всего, типом дугогасящего устройства.

В зависимости от вида используемого выключателя конструкция имеет свои преимущества и недостатки [3, 4].

Преимущества вакуумного выключателя [4, 5]: полная взрыво- и пожаробезопасность, возможность осуществления сверхбыстродействия и применения в любых циклах автоматического повторного включения, малая масса, малые габариты, простота в эксплуатации.

Недостатки: относительно ограниченный верхний предел значения отключаемого тока, возможные коммутационные перенапряжения при отключении малых индуктивных токов, отключение ограниченного ёмкостного тока батареи конденсаторов, относительно высокая стоимость.

В вакуумных выключателях инициирование дуги происходит за счёт размыкания контактов, а гашение электрической дуги происходит за счёт

естественного перехода тока через ноль. Большинство вакуумных выключателей среднего класса напряжений имеют максимальный номинальный ток 1600 А и ток короткого замыкания 20 кА при напряжении до 30 кВ.

1.2 Виды вакуумных дугогасительных камер

Активный объём вакуумной дугогасительной камеры, наиболее способствующий успешному отключению тока, это, во-первых, объём межконтактного промежутка, а во-вторых, – пространство, ограниченное с одной стороны этими контактами, а с другой – защитным экраном.

В своё время было предложено множество различных конструкций камер, из которых наибольшее распространение получили три конструкции, показанные схематически на рис. 1.1. Из них наиболее распространена камера, изображённая на рис. 1.1, (а). Здесь контакты окружены главным электростатическим экраном, который служит для охлаждения и конденсации на нём паров металла, образующихся в камере при коммутации выключателя. Помимо центрального экрана, на обоих фланцах предусмотрены концевые экраны, защищающие от попадания на поверхность изоляционной обечайки паров металла, доходящих в процессе коммутации до торцевых фланцев камеры и отражающихся от них назад. Изоляционная обечайка может выполняться практически из любого газонепроницаемого электроизоляционного материала неорганического происхождения. В середине, изнутри к ней, крепится главный экран. Герметизация подвижного контакта камеры выполняется с помощью сальфона, помещаемого также внутрь камеры, что предохраняет его от внешних повреждений. В зависимости от конструкции, в камере могут быть, а могут и не быть направляющие втулки, служащие для ориентации подвижного контакта. Длина камеры лишь ненамного больше её диаметра, и поэтому контакты такой камеры оказываются относительно короткими. Последний фактор немаловажен, так

как упрощает обеспечение высокой механической прочности и надлежащего теплового режима контактной системы.

Несколько иная конструкция дугогасительной камеры показана на рис. 1.1 (б). Диаметр обечайки этой камеры меньше, чем у предыдущей, но достигнуто это за счёт значительного увеличения её длины. Главный электростатический экран становится здесь как бы частью обечайки, а изоляция последней обеспечивается двумя изоляционными цилиндрами, по одному с каждой стороны экрана.

Конструкция вакуумной камеры на рис. 1.1 (в), хотя и предлагалась к внедрению, но по ряду причин так и не была применена на вакуумных выключателях. Основной недостаток такой камеры – сложность создания для неё изоляции, обладающей достаточно высокой электрической прочностью, ибо в данном случае изоляция работает в радиальном направлении, и потому проблема заключается в выдерживании не только надлежащих разрядных расстояний, но и соответствующих длин путей утечки. По этой причине подобные камеры находят применение лишь для вакуумных выключателей на напряжения не свыше 3 кВ.

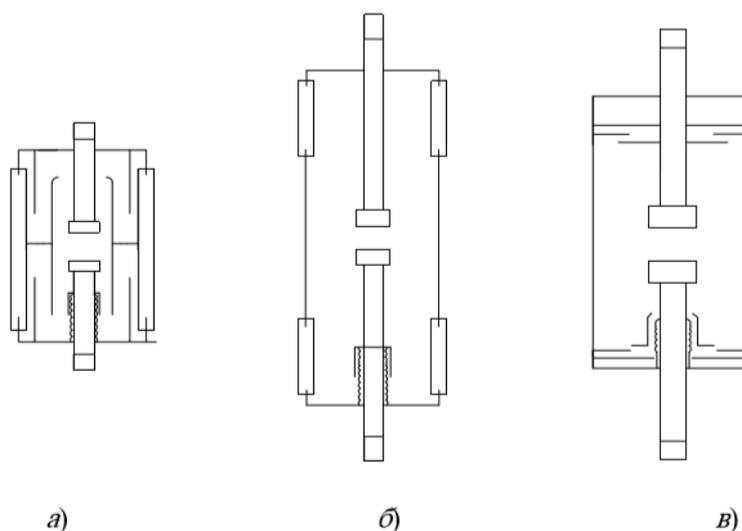


Рис. 1.1. Схематическое представление вакуумных камер

Конфигурация и размеры контактной системы дугогасительных устройств зависят как от требуемой пропускной способности по номинальному току, так и от токов короткого замыкания. Суммарная площадь

поверхности контактных элементов, подверженная воздействию электрической дуги, должна быть достаточно большой, чтобы эти контакты были в состоянии поглотить выделяемую в процессе дугогашения энергию, не подвергаясь при этом чрезмерному перегреву. С другой стороны, во избежание недопустимого превышения температуры токоведущих деталей при длительном протекании нагрузочного тока контакты камеры во включённом положении должны образовывать достаточно много контактных площадок с большой суммарной площадью соприкосновения (последняя зависит от твёрдости материала контактов и сжимающего усилия), что необходимо для эффективного теплоотвода от этих площадок в подобном режиме.

1.3 Отключающая способность вакуумных дугогасительных камер

У вакуумной дугогасительной камеры имеется два предела по отключающей способности. Первый из них характеризуется коммутационной способностью одного единственного последнего катодного пятна, возможностью его погасания в условиях, когда контакт относительно холодный. Эти условия зависят от теплофизических свойств материала катода. Высокой коммутационной способностью обладают контакты, катод которых изготовлен из материала, имеющего низкое давление паров металла и хорошую теплопроводность. Это означает, что контакты, обладающие высокой коммутационной способностью, могут отключать цепь, когда произведение $dl dt \times du dt$ достаточно велико. Для многих металлов, присущая им отключающая способность намного больше той, что требуется при обычных условиях коммутации.

Другой предел по отключающей способности касается не скорости спада тока и не скорости нарастания восстанавливающего напряжения, а самих токов короткого замыкания, которые приходится отключать выключателю. Этот предел по коммутационной способности зависит уже от конфигурации контактной системы (которая в этом случае должна быть такой,

чтобы препятствовать образованию локализованной дуги, горящей неподвижно на одном и том же месте), размеров контактов и материала, из которого они изготавливаются.

Так, например, даже если контакты имеют чашеобразную форму, вынуждающую дугу находиться в диффузном состоянии на протяжении всей полуволны тока, они должны быть достаточно большими и обладать такими теплофизическими свойствами, чтобы даже при равномерном поглощении ими энергии от дуги не происходило нагревание всей лицевой поверхности контактов до температуры, при которой давление паров металлов в момент перехода тока через нуль превосходит $0,13 \text{ Па}$ ($10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$). Таким образом, будь то разрезной чашеобразный контакт или же контакт со спиралеобразными лепестками, для него будет существовать какой-то предел по отключаемому току короткого замыкания, находящийся в прямой зависимости от размеров контактов и теплофизических свойств примесных материалов.

1.4 Теория коммутации токов в вакууме

Если размыкаются контакты, несущие ток, между ними возникает электрическая дуга, которая поддерживает высокую проводимость межконтактного промежутка и позволяет току протекать между контактами, как будто они остались замкнутыми. Это вызывает подогрев среды межконтактного промежутка до довольно высокой температуры для диссоциации (разложения) ее молекул и ионизации промежутка.

Существование электрической дуги характеризуется квазиравновесным состоянием, при котором напряжение дуги саморегулируется на уровне, достаточном для поддержания проводимости образующейся плазмы, а диаметр столба дуги сжимается или расширяется в зависимости от изменения величины протекающего тока. Выделяющаяся при этом энергия отдается в окружающую среду посредством теплопроводности, конвекции и излучения. Этот энергетический баланс должен быть разрушен, если необходимо

подавить дугу и прервать протекание тока. При достижении током естественного нуля приток энергии из сети прекращается, если в этот момент интенсивно охлаждать межконтактный промежуток, то можно погасить дугу, нарушить проводимость промежутка и восстановить его электрическую прочность, тем самым, осуществив отключение.

Охлаждение должно быть очень быстрым, чтобы скорость подавления остаточной дуги и восстановления электрической прочности промежутка превышала скорость роста переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН). Если контакты, несущие ток, размыкаются в вакууме, весь ток устремляется к последней оставшейся точке контакта, вызывая интенсивный местный нагрев в этой точке [6].



Рис. 1.2. Фотография ионизированной среды металлического пара

При дальнейшем разведении контактов формируется мостик из расплавленного металла, который, вследствие огромной плотности тока в нем, мгновенно разогревается и взрывается, создавая дугу в среде ионизированных металлических паров, образовавшихся в результате взрыва. Ионизированный металлический пар является хорошим проводником тока, и в межэлектродном промежутке начинается устойчивый дуговой разряд. Таким образом, вакуумная дуга представляет собой, на самом деле, дугу в среде металлического пара. Носители тока попадают в межэлектродный промежуток с катода через множественные точечные источники тока, называемые катодными пятнами.

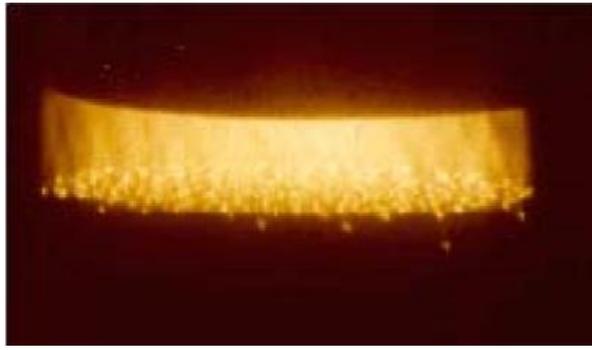


Рис. 1.3. Фотография образования катодных пятен

Через каждое пятно протекает ток 60-100 ампер, что при размерах катодного пятна от нескольких микрон до нескольких десятков микрон создает плотность тока до ста миллионов ампер на квадратный сантиметр. Огромная плотность тока разогревает металл электрода в катодных пятнах, он кипит и испаряется, давление в этих точках достигает десятков атмосфер, а температура - нескольких тысяч градусов. При таких температурах и давлениях из катодных пятен истекают сверхзвуковые струи плотной, сильно ионизированной плазмы, через которую и замыкается ток на анод. При наблюдении за катодными пятнами кажется, что они находятся в непрерывном хаотическом движении по поверхности катода. На самом деле эффект движения пятен создается из-за непрерывного процесса исчезновения (отмирания) одних пятен и возникновения других. Каждое пятно имеет ограниченное «время жизни», новые пятна рождаются в месте отмирания «старого» пятна, зачастую новые пятна появляются путем деления уже существующего на два и более пятен. Количество пятен, существующих на катоде в определенный момент времени, определяется амплитудой тока дуги и материалом катода. Так, например, каждое пятно на медном электроде несет ток порядка 100 А. Таким образом, дуга, образуемая на медном электроде током 1000 А создаст примерно 10 катодных пятен.

Если рассмотреть полупериод переменного тока, то можно заметить, что одновременно с ростом уровня тока будет расти и количество катодных пятен, затем, по мере уменьшения тока, количество пятен будет уменьшаться до тех пор, пока непосредственно перед естественным переходом тока через

ноль не останется только одно пятно. При достижении током предельной минимальной величины, которая называется током среза и зависит, в основном, от материала катода, последнее катодное пятно прекращает свое существование, при этом ток через межэлектродный промежуток практически перестает течь, а пары металла конденсируются на электродах за время около 10 микросекунд. После исчезновения тока на разведенных электродах начинает восстанавливаться напряжение сети, этот процесс занимает примерно 50-60 микросекунд, то есть, к моменту восстановления напряжения носители заряда в межэлектродном промежутке отсутствуют, и он полностью восстанавливает свои диэлектрические свойства.

Наличие катодных пятен жизненно необходимо для существования вакуумной дуги, поскольку они являются источником плазмы, без которой дуга не живет. Анод, в отличие от катода, ведет себя как положительный зонд, вытягивающий из плазмы значительный ток, необходимый для удовлетворения потребностей внешней цепи. Межэлектродная плазма обеспечивает проводящую среду, необходимую для переноса тока от катода к аноду. При дальнейшем увеличении тока в дуге, плазма, вместо того, чтобы равномерно омывать анод, как было описано ранее, фокусируется на небольшой области этого электрода. Это анодное пятно, обычно находящееся на остром краю контакта и пребывающее в расплавленном состоянии, обычно играет ключевую роль в пробое промежутка при попытке восстановления напряжения. Катодные пятна, при этом, имеют тенденцию к группированию, а сама дуга принимает вид яркосветящегося жгута. Дуга вызывает большую эрозию обоих электродов, которая в количественном отношении зависит от амплитуды тока и длительности его протекания.

1.5 Контактные материалы

Вакуумный выключатель — высоковольтный выключатель, в котором вакуум служит средой для гашения электрической дуги. Вакуумный выключатель предназначен для коммутаций (операций включения-

отключения) электрического тока — номинального и токов короткого замыкания в электроустановках. Хороший контактный материал для вакуумного выключателя должен соответствовать определенным требованиям. Но порой эти многочисленные нужные качества оказываются противоречивыми. Поэтому необходимо находить приемлемый компромисс для конкретного вида применения в соответствии с выбором приоритетных свойств. В настоящее время наибольший компромисс достигается при использовании композитов, и наиболее широко для автоматических выключателей применяются CuCr-композиты. Композиты семейства CuCr зарекомендовали себя как лучшие материалы для автоматических выключателей и, похоже, в ближайшее время не будут вытеснены какими-либо другими материалами, несмотря на то, что исследования и разработки в этой области продолжаются. Используемые пропорции составляют 50 - 80 % для меди, остальной процент - для хрома. Высокое содержание меди благоприятно влияет на удельную электрическую проводимость (низкое переходное сопротивление контакта) и на удельную теплопроводность (хороший отвод энергии дуги). Высокое содержание хрома благоприятно влияет на стойкость при сварке и электрическую прочность под действием повышенного напряжения.

В вакуумных выключателях дуга горит в парах металла, вследствие чего на её характеристики значительно влияют свойства контактного материала. Тугоплавкие контактные материалы (типа вольфрама) обладают высокой дугостойкостью, однако имеют большой ток среза, вследствие чего возникают перенапряжения. Для уменьшения тока среза разработаны специальные композиции, не образующие твёрдых растворов с основными компонентами. Методы порошковой металлургии с использованием вакуумной технологии позволяют создать композиции с заранее заданными характеристиками.

К материалу контактов вакуумных выключателей предъявляются следующие требования:

– температура кипения всех компонентов композиционного материала должна быть < 3500 К (для обеспечения высокой отключающей способности);

– твёрдость по Бринеллю должна быть не менее 1000 МПа, и не должна образовываться микроострия (для обеспечения высокой электрической прочности межконтактного промежутка);

– материал должен содержать определённое количество такого компонента с высокой электрической проводимостью, который не образует с другими компонентами растворов и химических соединений (для обеспечения низкого переходного сопротивления);

– материал должен содержать хрупкие компоненты, снижающие прочность сварного соединения (для обеспечения высокой стойкости к свариванию);

– материал (для обеспечения высокой эрозионной стойкости) должен состоять из компонентов, у которых коэффициенты аккумуляции теплоты

$$k_a = \sqrt{\lambda_m c_m \gamma_m}$$

различаются не менее чем в два раза;

– в контактный материал (для обеспечения низкого тока среза) должен входить компонент, не взаимодействующий с другими компонентами и имеющий низкое значение критерия срезающей способности $T_{кип} k_a$.

Контакты ВДК большую часть времени находятся в замкнутом состоянии, и при этом их чистые и не окисленные поверхности весьма склонны к холодной сварке. Сварка может произойти и при искровом пробое в момент замыкания, когда контакты сближаются. Эта проблема решается путём добавки небольшого количества примесей в материал контакта.

Для уменьшения тока среза следует ввести в материал контактов легколетучие добавки, не образующие твёрдых растворов с основными компонентами. Средний ток среза (в амперах) для некоторых материалов, используемых в вакуумных аппаратах:

Вольфрам.....	9,9	Железо.....	4,4
Медь.....	9,4	Медь-висмут.....	3,8
Медь-сурьма.....	6,2	Вольфрам-медь-сурьма.....	2,2
Вольфрам-медь.....	5,0	Железо-медь-сурьма.....	1,3

Наибольшее применение в качестве контактных материалов в ВДК нашли медно-висмутовые, медно-хромовые и медно-бериллиевые сплавы.

Для повышения отключающей способности применяются специальные конструктивные меры, обеспечивающие непрерывное перемещение дуги под действием магнитного поля, создаваемого отключаемым током.

Из рисунка 1.4 видно, что при продольном магнитном дутье отключаемые токи повышаются до 100 кА и более (кривая 1), в то время как при поперечном магнитном дутье отключаемые токи не превышают 50 кА (кривая 2).

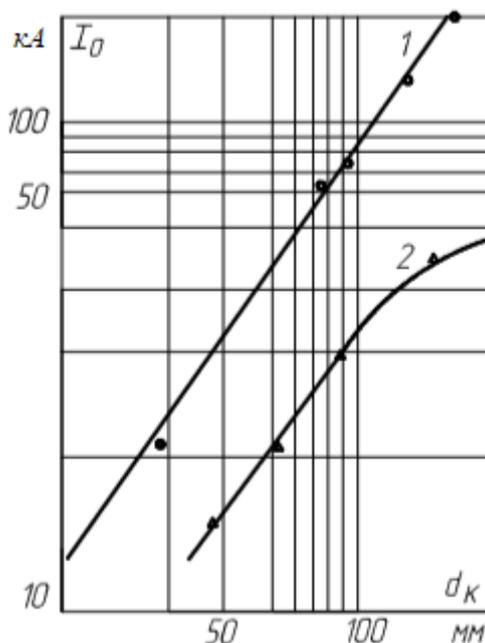


Рис. 1.4. Зависимости отключаемого тока для двух типов магнитного дутья

Из анализа процессов, протекающих внутри вакуумной камеры при отключении больших токов следует, что для повышения отключающей способности вакуумного выключателя необходимо совершенствование

контактной системы с целью предотвращения возникновения анодного пятна. В настоящее время в мировой практике получили широкое распространение несколько разновидностей контактных систем. Самой простой и технологичной, а, следовательно, и дешевой является контактная система торцевого типа. Изготовленная, как правило, из меди и снабженная контактными накладками из композиции медь-хром для увеличения устойчивости к свариванию и износостойкости, по причинам, изложенным ранее она не в состоянии отключать токи с действующим значение более 10 кА, однако выпускается многими производителями вакуумных камер для выключателей на токи 8-10 кА, поскольку технологична и проста в изготовлении, а, следовательно, относительно дешева [6].

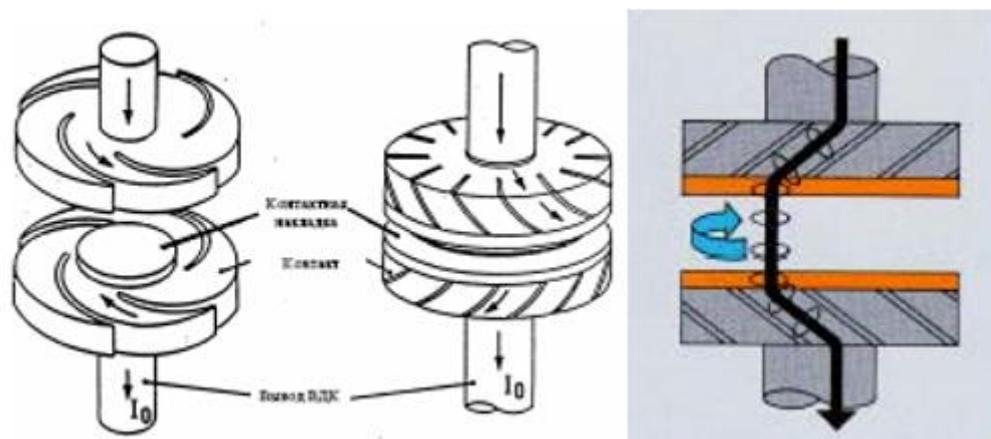


Рис. 1.5. Контактные системы с радиальным магнитным полем

Дальнейшие научные исследования и технические разработки позволили создать контактные системы с поперечным (радиальным) магнитным полем. В этих системах при протекании по ним тока создается электромагнитная сила, заставляющая дугу двигаться по поверхности электрода, что позволяет избежать локальных перегревов. При этом дуга неравномерная, сильно шумящая, напряжение горения дуги составляет 60-80 вольт, процесс характеризуется значительным выделением энергии. Электроды подобного типа широко используют в своих камерах такие фирмы как Siemens. Применение таких контактных систем позволило увеличить предел отключаемого тока до 30 кА при диаметре электрода 100 мм. Однако

такие контактные системы не лишены недостатков, и одним из самых существенных является значительная эрозия электродов, что приводит к быстрому их износу и снижению срока службы выключателя при частых коммутациях, т.к. «работает» узкая полоска, составляющая 30% от площади контакта.

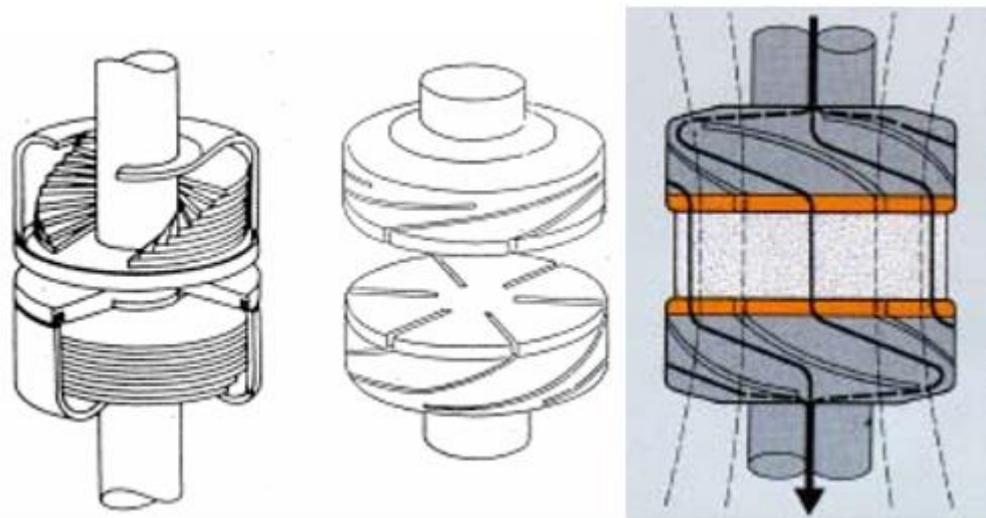


Рис. 1.6. Контактные системы с аксиальным магнитным полем

Для того чтобы исключить износ контактов и обеспечить 100% рабочую площадь применяют наложение продольного (аксиального) магнитного поля на горящую дугу, которое ограничивает движение катодных пятен таким образом, что почти на всех стадиях своего существования дуга не концентрируется на одной точке контакта, а равномерно распределяется по всей поверхности анода, что позволяет избежать локальных перегревов. При этом отключающая способность по сравнению с электродами поперечного поля того же диаметра возрастает почти в три раза. Существуют несколько разновидностей конструкций электродов с аксиальным магнитным полем. Электроды такого типа широко используются в камерах, когда необходимо получить высокую отключающую способность в минимальных габаритах.

Глава 2. Экспериментальное оборудование

2.1 Экспериментальная установка

2.1.1 Сильноточный контур

Для работы в лабораторных условиях использовался стенд для изучения процессов происходящих в сильноточной вакуумной дуге, по синтетической схеме Вейлю-Доббке [14], электрическая схема которого изображена на рис. 2.1. Фотография собранного стенда представлена на рис. 2.2. В данной схеме имитируется режим короткого замыкания переменного тока в электрической сети.

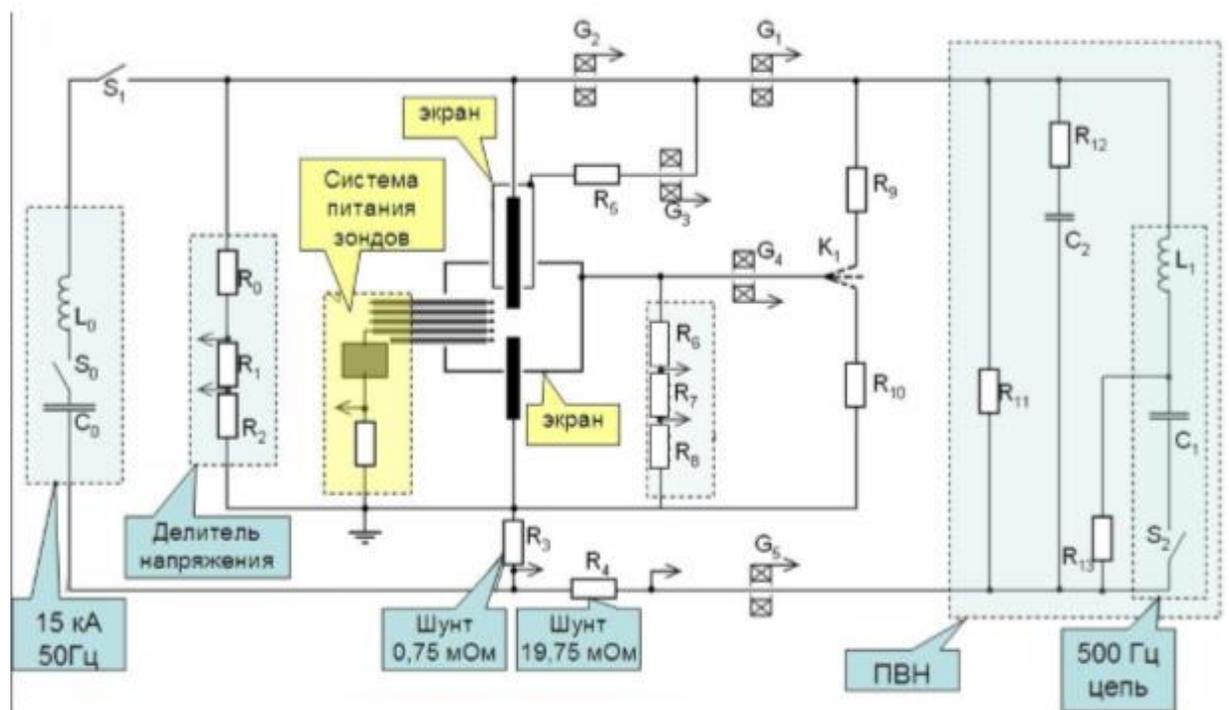


Рис. 2.1. Электрическая схема представляемого стенда.

Схема работает на параллельном подключении двух контуров к исследуемому разрядному промежутку: сильноточного низковольтного контура и менее сильноточного высоковольтного контура.

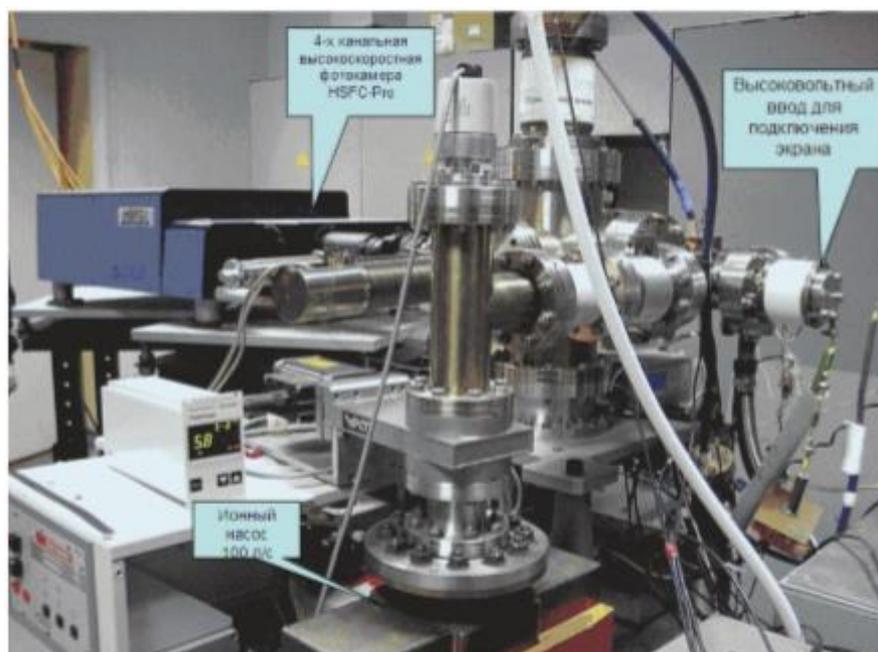


Рис. 2.2. Экспериментальный стенд и система оптической регистрации разрядного промежутка.

Сильноточная низковольтная цепь состоит из элементов $C_0=60$ мФ и $L_0 =170$ мкГн с тиристорным коммутатором S_0 . C_0 имеет свой набор параллельно соединенных конденсаторов МБГВ, каждый из которых имеет емкость $C=160$ мкФ. В соответствии с промышленной частотой 50 Гц, сильноточная низковольтная цепь формирует гармонический импульс тока с длительностью полупериода 10 мс по основанию. Как показано на рис. 2.3, амплитуда тока достигает 15 кА при зарядном напряжении конденсаторов $C_0 = 950$ В.

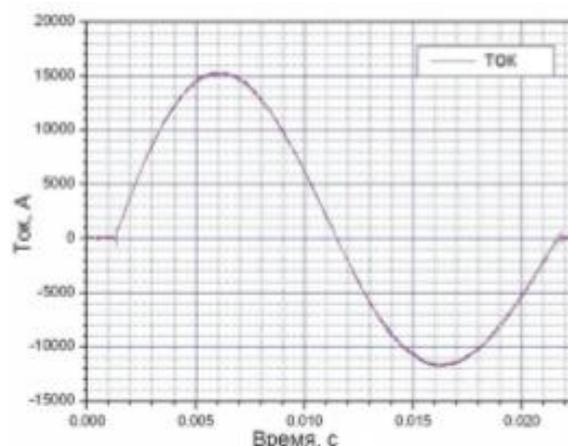


Рис. 2.3. Элементы, формирующие импульс тока и силовую цепь. 1-конденсаторная батарея, 2- катушка индуктивности, 3- источник питания, 4- генератор задержек.

2.1.2 Высоковольтный контур

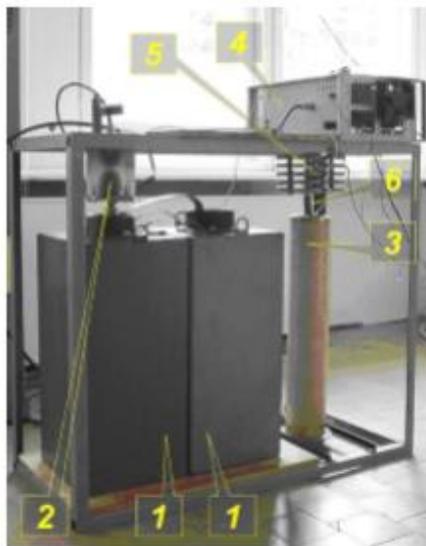
Менее силовая, высоковольтная цепь с газонаполненным тригatronным разрядником, состоит из элементов $C_1 = 12 \text{ мкФ}$ и $L_1 = 3,7 \text{ мГн}$ с S_2 коммутатором. Эта цепь генерирует гармонический импульс тока амплитудой около 1,5 кА и частотой 500 Гц (рис. 2.4).

Благодаря этим параметрам схемы скорости спада тока в силовой цепи и спада тока dI/dt к моменту нуля тока равны. После перехода тока через ноль цепь генерирует импульс переходного восстанавливающего напряжения (ПВН) с амплитудой до 41 кВ [15].

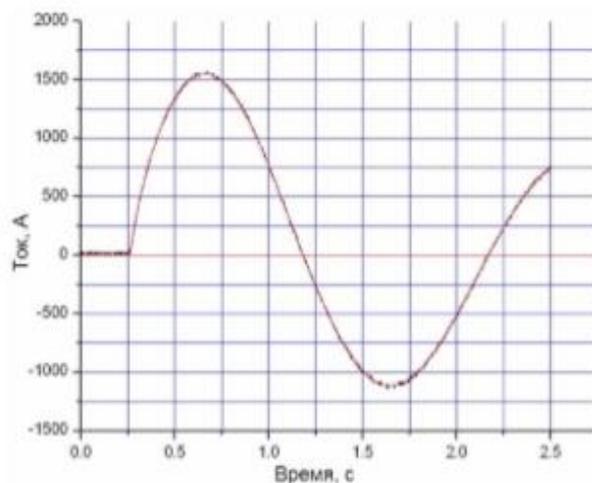
Ключ S_1 использовался для разъединения силовой и высоковольтной частей по основе серийного вакуумного выключателя тока напряжением до 40 кВ. В качестве разрядного промежутка использовались два контакта диаметром 20 мм. В качестве контактного материала выбирается чистая бескислородная медь (рис. 2.5 а), помещенная в динамически откачиваемую вакуумную камеру или контакты, сделанные из материала $Cu75\%Cr25\%$. Верхний контакт изолирован с применением высоковольтного ввода, второй - подвижный. Подвижный контакт движется со скоростью 1 м/с и за время 10 мс скорость контакта практически остается постоянной (рис. 2.5 в).

Дополнительный отражатель (малый экран) диаметром 40 мм смонтирован в верхней части электрода и расположен по всей длине держателя электрода. Этот отражатель позволяет измерять последуговой ток, разделяя торцевую часть и боковую часть электрода. Экран соединен с потенциальным (верхним) электродом через резистор $R_5 = 50 \text{ Ом}$. Основная задача для резистора - устранение токов короткого замыкания, а также

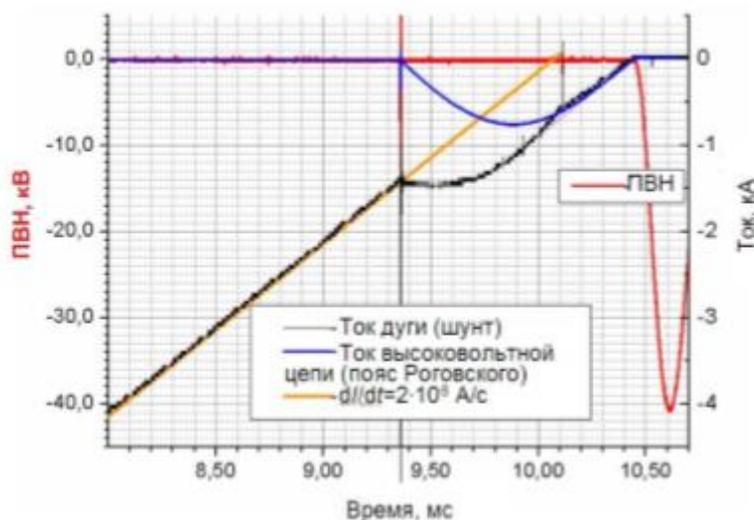
ограничение тока экрана в системе, в случае возникновения на нем катодных пятен.



(а)

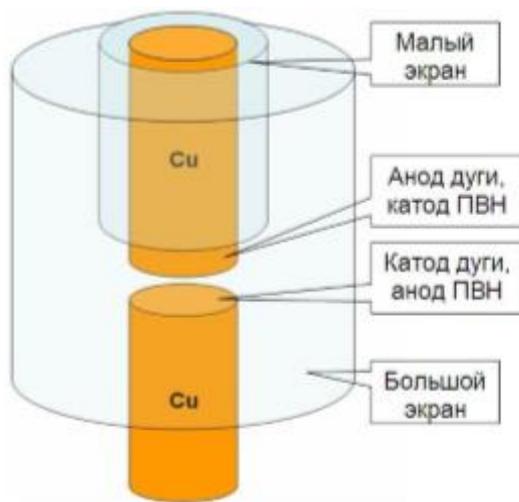


(б)

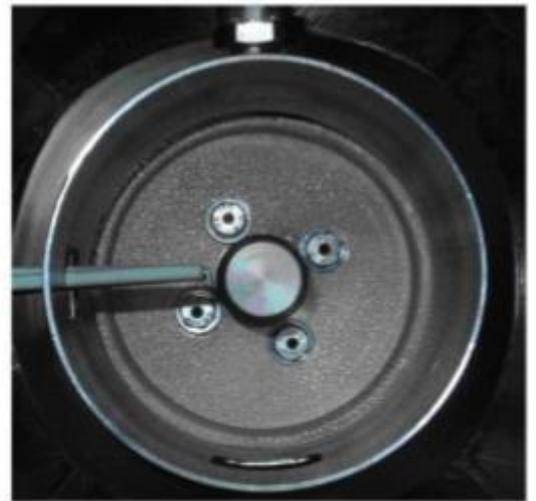


(в)

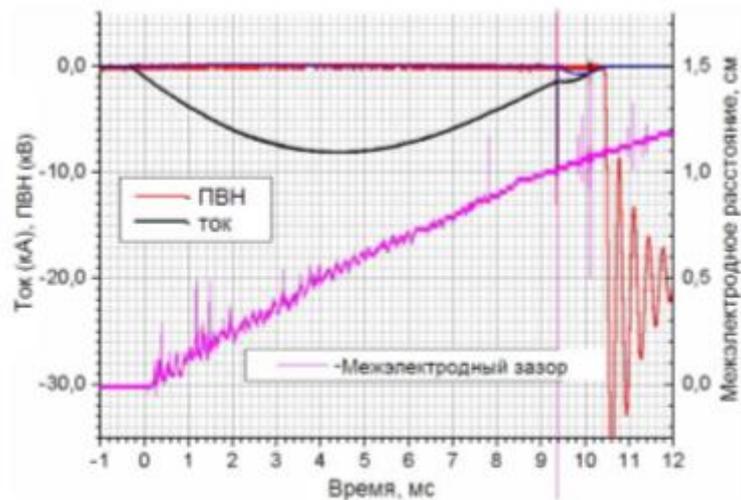
Рис. 2.4. Элементы, образующие высоковольтную цепь (а) и форма импульса тока (б), образуемая цепью и скорость падения тока в момент перехода тока через ноль и рост напряжения ПВН после нуля тока (в). 1- набор конденсаторов, 2- газовый разрядник, 3- катушка индуктивности, 4- источник запуска разрядника, 5- дополнительные конденсаторы, 6- резистор.



(a)



(б)



(в)

Рис. 2.5. Медные электроды в разрядном промежутке (а), установленный экран (вид сверху) (б) и осциллограмма тока, напряжения ПВН и скорости разведения контактов (в).

В то же время, при относительно небольшом последуговом токе (~ 1 А) на экран разница потенциалов электрода и экрана могла составлять десятки вольт, что намного ниже уровня ПВН. В процессе измерения последугового тока в цепи экрана, электрода и суммарного тока использовалась пояса Роговского с электростатической экранировкой G_1 , G_2 , и G_3 . Резистивный делитель R_0 (44 кОм)/ R_1 (500 Ом)/ R_2 (25 Ом) используем чтобы измерить

напряжение в межэлектродном зазоре в двух диапазонах напряжений (вольт и киловольт).

Второй экран диаметром 96 мм и высотой 95 мм был смонтирован вокруг разрядного промежутка. Экран имеет отверстия для входа зондов и через кварцевое окно, смонтированное на боковом фланце оборудования, можно наблюдать за процессами разрядного промежутка. И с помощью ключа K_1 (рис. 2.2) данный экран может находиться под разными потенциалами: потенциал ПВН, плавающий потенциал и потенциал земли. Подать потенциал ПВН на экран можно использовав высоковольтный металлокерамический вакуумный ввод. Расположение готового отражателя в зазоре показано на рис. 2.5 б. Выбрав такую систему можно изучить влияние действия потенциала отражателя на характеристики отключающей способности выключателя. Потенциал большого экрана измеряется резистивным делителем $R_6(52 \text{ кОм})/R_7(500 \text{ Ом})/R_8(25 \text{ Ом})$. А резисторы $R_9 (300 \text{ Ом})$ или $R_{10} (4 \text{ Ом})$ используются для соединения отражателя с потенциалом ПВН или при заземлении отражателя. Работа этих резисторов приводит к ограничению образования катодных пятен на экране. Пояс Роговского G_4 используется для измерения тока на экран.

Все эксперименты проводились в условиях высокого вакуума порядка 10^{-6} Па. Вакуум достигал уровня 10^{-1} Па при непрерывной откачке в течение $8 \div 10$ часов форвакуумным насосом, при нагреве вакуумной камеры до температуры $>100^\circ\text{C}$. Магниторазрядный насос НМДО-100 откачивал камеру со скоростью 100 л/с, но только после того как камера остыла.

Работа синтетической схемы показана в виде осциллограмм на рис. 2.6. В начале работы S_1 контакты выключателя и VCB в замкнутом состоянии. После включения тиристора S_0 ток генератора L_0C_0 начинает нарастать. Контакты VCB начинают разъединяться в момент времени t_1 . Дуговой разряд в вакуумном выключателе появляется в этот промежуток времени. Напряжение горения дугового разряда поднимается с возрастанием тока и составляет величину $\sim 20 \text{ В}$ во время разрыва контактов. Оба выключателя

разъединяются приблизительно в одно время. Разрядник S_2 коммутируется в момент времени t_2 , и высоковольтная цепь передает ток в линию выключателя VCB. А когда значение тока низковольтного контура доходит до нуля, в момент времени t_3 , полярность на вакуумном выключателе S_1 меняется и он отсекает низковольтный контур, восстанавливая свои электроизоляционные свойства. После этого ток в VCB выключателе обеспечивает только высоковольтный контур. Моменты времени переключения тока контура взаимосвязаны. Момент подключения тока высоковольтного контура нужно выбрать так, чтобы он достиг нуля спустя $200 \div 300$ мкс после тока низковольтного контура; за этот промежуток времени плазма в выключателе S_1 окончательно распадается ($t_2 \sim 700$ мкс до завершения полупериода тока низковольтной цепи t_3).

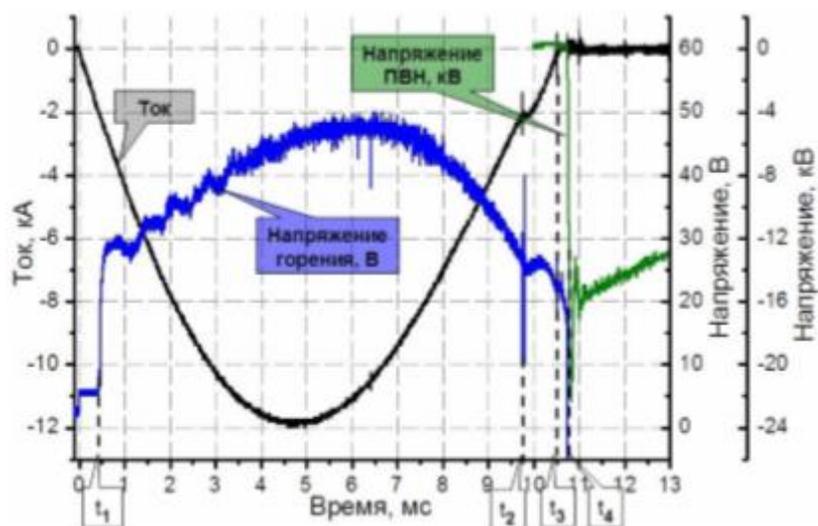


Рис. 2.6. Осциллограмма тока дуги, напряжения горения и импульса ПВН, показывающая процесс работы синтетической схемы.

На контактах выключателя VCB при переходе тока через ноль в момент t_4 возникает переходное восстанавливающее напряжение (ПВН) обратной полярности. Параметры высоковольтного контура определяют амплитуду и форму импульса напряжения ПВН.

2.2. Методика проведения экспериментов

2.2.1. Методы исследования двойным зондом

Двойные зонды Ленгмюра использовались для исследования параметров плазмы в период времени горения дуги [16]. Два одинаковых зонда были сделаны из отрезка молибденовой проволоки, их диаметр 1.2 мм, и находились внутри керамической трубки, наружный диаметр которых составляет 4 мм. Для обеспечения электрической изоляции между трубкой и зондом, расстояние внутренней поверхности между ними должно быть 0,1 мм. Концы зондов сделаны в загнутом виде для увеличения площади собирающей поверхности до 20 мм² (рис. 2.7). Это позволит получить данные при зондировании в радиально-осевой поверхности, не искажая пространственную и разрешающую способность метода.

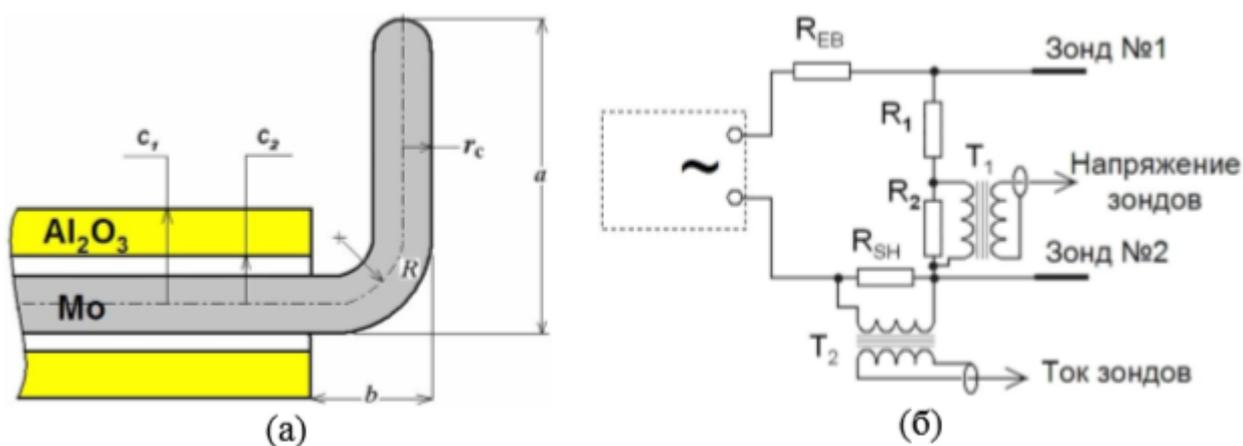


Рис. 2.7. Схематическое представление зонда и схема питания двойного зонда. Геометрические показатели: $a = 5,5$ мм, $b = 2,12 \div 2,4$ мм, $R = 1$ мм, $r_c = 0,6$ мм, $C_1 = 2$ мм, и $C_2 = 1$ мм.

Для правильной работы с зондом требовалось переменное напряжение, с регулируемой частотой в диапазоне 20÷400 кГц, длительностью 10 мс и амплитудой 30÷40 В [17]. Электрическая схема включения двойного зонда показана на рис. 2.7(б). Резистивные делители $R_1/R_2=2,2$ кОм/25 Ом применяются для фиксации потенциала зондов относительно земли. Шунт $R_{sh}=0,5\div 1$ Ом применяется для фиксации тока на зонд. Чтобы ограничить

подаваемый ток в зонды следует установить вспомогательное сопротивление $R_{\text{ЕВ}}=3\div 10$ Ом. Данная схема двойного зонда изолирована от земли. Чтобы фиксировать ток и напряжение между зондами в виде гальванических развязок применялись трансформаторы с набором ферритовых сердечников.

2.2.2. Методы исследования одиночными зондами

Система одиночных зондов Ленгмюра применялись для восстановления концентрации плазмы в разрядном промежутке вблизи перехода тока через ноль. Разрядный промежуток с зондами изображен на рис. 2.8.

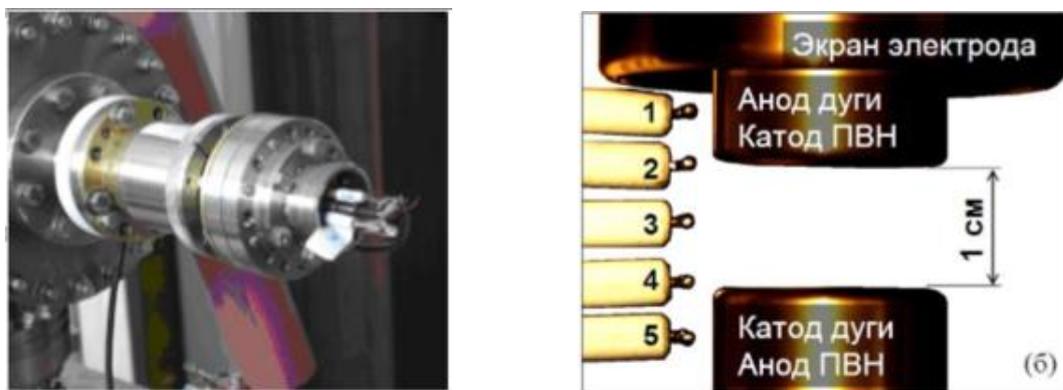


Рис. 2.8. Разрядный промежуток и набор из 5 одиночных цилиндрических зондов Ленгмюра, используемые для исследования концентрацию плазмы и рисунок манипулятора, он позволяет зондам двигаться в радиальном направлении.

Изучаемый плазменный объект обладает осевой симметрией и может регистрировать радиальные и осевые расположения концентрации плазмы. Для получения данных и изучения использовалась система из пяти зондов, они расположились на линии, параллельно закрепляясь по оси промежутка. Вакуумный ввод располагается на манипуляторе так, чтобы гребенки зондов двигались как единое целое в радиальном направлении. Для регулировки положения зондов в том случае, когда зонды располагались в прямой близости от электродов, производилась визуализация разрядного промежутка с применением 4-х канальной 12-ти разрядной высокоскоростной камеры HSFC

Pro с электронно-оптическим усилителем яркости. Каждые из этих зондов были соединены с независимыми каналами источника питания. Каналы источника питания имели импеданс по 25 Ом. Напряжение питания зондов по всем пяти каналам стабилизировалось одновременно в диапазоне от 20 до 50 В. Запуск пяти каналов производился синхронно за $50 \div 100$ мкс до перехода тока дуги через ноль. Длительности импульса напряжения в пяти каналах был >1 мс. На рис. 2.9 можно увидеть схему питания одиночного зонда.

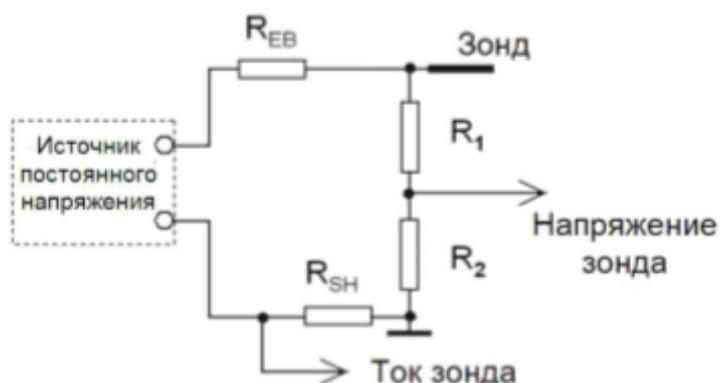


Рис. 2.9. Одиночный цилиндрический зонд Ленгмюра, схема питания применяемого для исследования расширения границы плазмы после перехода тока через ноль.

2.2.3. Синтетические испытания вакуумных выключателей с наплавленными контактами

Схема процесса электронно-лучевой наплавки представлена на рис. 2.10 [18]. Электронный луч формируется электронно-лучевой пушкой с плазменным катодом и фокусируется на поверхности обрабатываемой детали. Наплавочный порошок подается из специального дозатора в зону действия электронного луча, где происходит его плавление и кристаллизация. Наплавочный валик формируется при кристаллизации наплавляемого материала в процессе перемещения (вращения) детали с заданной скоростью. Электронный луч при этом, разворачивается в линию, ориентированную поперёк направления перемещения детали. Толщина наплавленного валика

определяется скоростью перемещения детали и количеством наплавочного материала, подаваемого в единицу времени. Термопары, вставляются в глухое отверстие установленного в центре диска и служат для контролирования температуры основного металла (подложки). Для определения влияния температуры подложки на микроструктуру покрытий наплавку вели в заданных диапазонах температур. Температурные режимы представлены в таблице 2.1.

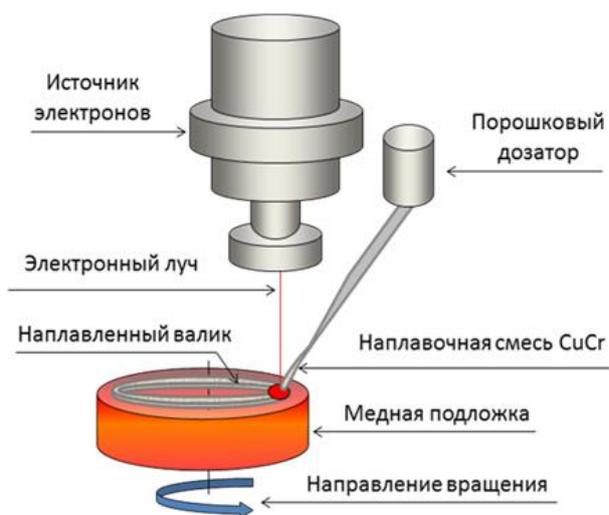


Рис. 2.10. Схема процесса электронно-лучевой наплавки

Таблица 2.1. Параметры режимов наплавки

Номер образца	Температура подложки, °С, в начале / в конце процесса	Вид технологической операции	Объемная доля хрома в покрытии, % об.
1.	500 / 600	Электронно-лучевая наплавка	43,5
2.	680 / 820	Электронно-лучевая наплавка	45,2
3.	800 / 880	Электронно-лучевая наплавка	24,6
4.	20 / 360	Оплавление покрытия	

Для изучения микроструктуры использовался оптический микроскоп Olympus GX51, имеющий анализатор изображений SIAMS 700. Чтобы изучить морфологию хромовых частиц необходимо произвести травление образцов травителем, в составе которого имеются смеси кислот (азотная кислота 50 мл, ледяная уксусная кислота 25 мл и ортофосфорная кислота 25

мл). Для травления необходимо погрузить образцы в травитель и немного продержать их там, после промывается водой и протирается спиртом. И для проверки очистки образцов использовался растровый электронный микроскоп Leo Evo 50 (оснащенный микроанализатором), работающий с отраженными и обратно рассеянными электронами. Оборудование для получения результатов растрового микроскопа предоставили в ЦКП ИФПМ СО РАН.

Глава 3. Результаты экспериментальных исследований

3.1. Исследование параметров плазмы в разрядном промежутке

зондовым методом

3.1.1 Результаты двойного зонда

Основная задача двойного зонда на этапе горения сильноточной вакуумной дуги – это измерение температуры электронов в плазме. Значение частоты переменного напряжения для подачи на зонды варьировалось в диапазоне 100÷400 кГц. Характерные осциллограммы двойного зонда (вольтамперная характеристика) можно увидеть на рис. 3.1а. В качестве изменяемых параметров рассматривались: ионный ток насыщения на зонд i_{is} , температура электронов T_e и разность потенциалов ΔV .

Чтобы восстановить электронную температуру плазмы необходимо экспериментальную вольтамперную характеристику двойного зонда подогнать к теоретической кривой, представленной в уравнении 3.1 [17]:

$$i_p(V) = i_{is} \operatorname{th} \frac{e(V - \Delta V)}{2kT_e}, \quad (3.1)$$

где T_e – температура электронов в плазме, i_{is} – ионный ток насыщения, V – напряжение на зонде и ΔV – разность потенциалов между плечами двойного зонда.

Можно заметить, что на температуру электронов на этапе горения сильноточной дуги не влияют частота приложенного к зондам напряжения,

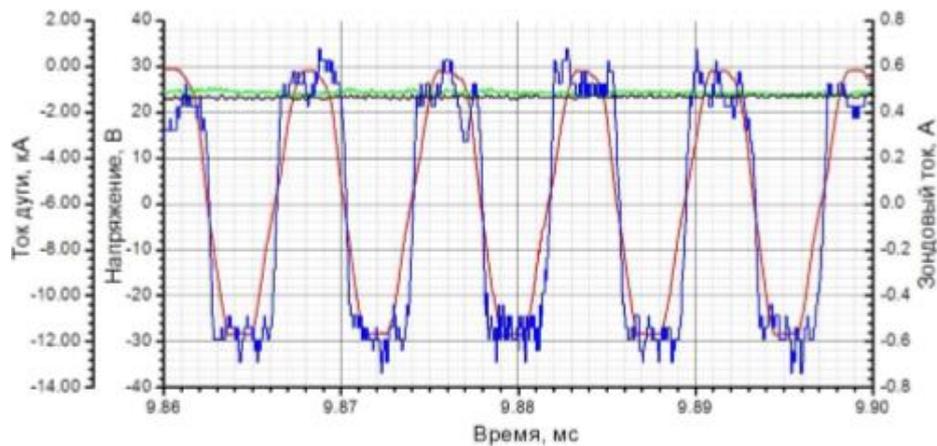
ток разряда и момент измерения. Измеренное таким образом значение температуры составляет около 3 эВ.

Величина ионного тока насыщения играет важную роль при восстановлении плазменной концентрации. Для этого нужно знать функцию распределения ионов по скорости. Мы знаем, что ионы в плазменном потоке, генерируемым катодным пятном за время горения вакуумной дуги, обладают скоростью $V_d \sim 10^6$ см/с. Такая скорость преобладает над Бомовской скоростью ионов вблизи зонда с отрицательным потенциалом. Тогда ионный ток на зонд можно записать в виде:

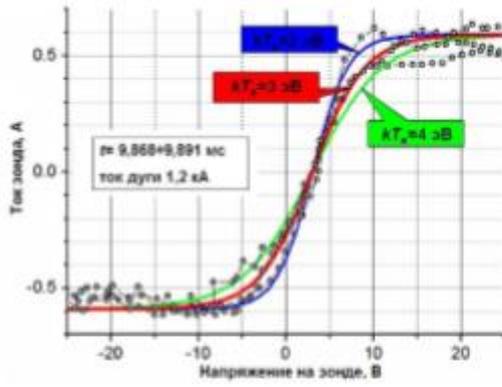
$$i_{is} = i_{dir} = S_{cs} \cdot e \langle Z \rangle n_i v_d = S_{cs} \cdot e n_e v_d, \quad (3.2)$$

где площадь собирающей поверхности зонда в плазменном потоке представляет собой площадь проекции зонда в направлении катода (нижнего электрода):

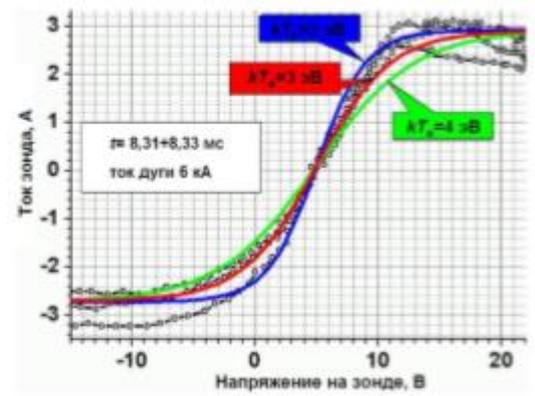
$$S_{cs} \cong 2R \cdot a = 1,2 \cdot 5,1 [\text{мм}^2] \cong 6,1 [\text{мм}^2] \quad (3.3)$$



(a)



(б)



(в)

Рис. 3.1. Осциллограммы тока и напряжения двойного зонда, тока и напряжения горения дуги (а), и ВАХ двойного зонда, полученные при обработке в разные периоды времени (б, в).

В этом случае концентрацию электронов можно записать в виде:

$$n_e [\text{см}^{-3}] = \frac{i_{iz}}{S_{cs} e v_d} \cong 1 \times 10^{14} \cdot i_{iz} [A] \quad (3.4)$$

Кроме того, еще нужно учесть взаимодействие потока ионов катодной плазмы с плотным нейтральным паром материала электродов в разрядном промежутке. К примеру, среди ионно-атомных взаимодействий наибольшим сечением обладает резонансная перезарядка. Результат таких взаимодействий в плазме приводит к появлению значительной доли ионов с энергиями, характерными для паров (с Максвелловским распределением, $kT_i \leq 1$ эВ). Тогда формула Бома связывает ионный ток насыщения и концентрацию плазмы следующим образом:

$$i_{iz} = i_B = 0.4 e n_e S_{pr} \sqrt{\frac{2kT_e}{M}}, \quad (3.5)$$

где собирающую поверхность зонда рассматриваем как полную поверхность зонда $S_{pr} \cong 19 \text{ см}^2$. Измеренная температура электронов $kT_e = 3$ эВ позволяет получить выражение для восстановления концентрации плазмы:

$$n_e [\text{см}^{-3}] = \frac{i_{iz}}{0.4eS_{pr} \sqrt{\frac{2kT_e}{M}}} \cong 2.7 \times 10^{14} \cdot i_{iz} [A] \quad (3.6)$$

Из сравнения выражений (3.4) и (3.6) можно сделать вывод, что расчетные значения концентрации плазмы отличаются меньше чем в 3 раза. В действительности же функция распределения ионов по скоростям в плазме является комбинацией проанализированных крайних случаев. Выражение (3.4) нужно использовать вместо (3.6) для восстановления плотности плазмы задолго до перехода тока разряда через ноль. Исходя из этого, для интервалов времени (рис. 3.1), плотность плазмы составляет величину $3 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при токе дуги 6 кА (рис. 3.1, б), согласно выражению (3.4), и $6 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$ при токе дуги 1,2 кА (рис. 3.1, в).

Амплитуда сигнала двойного зонда уменьшается, когда ток разряда приближается к нулю тока и становится сравнима с шумом. На рис. 3.2 представлены осциллограммы двойного зонда вблизи перехода тока разряда через ноль.

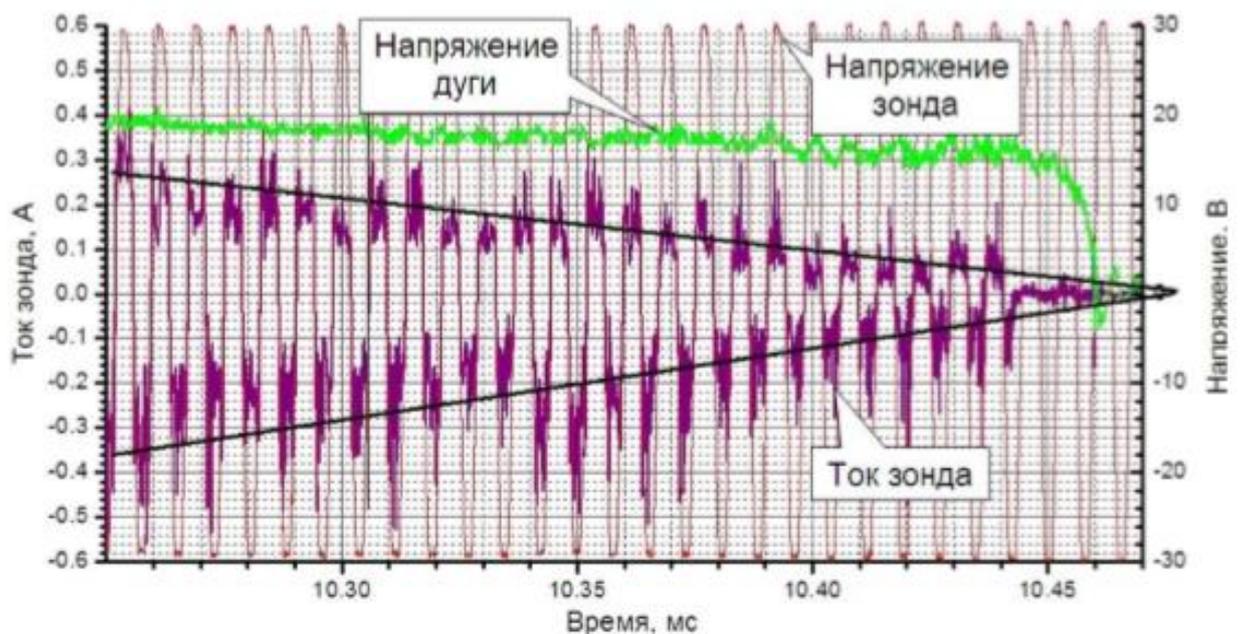


Рис. 3.2. Сигнал, полученный с двойного зонда вблизи перехода тока через ноль. Амплитуда тока разряда составляла 10 кА. Затухание сигнала представлено сплошной линией.

Было замечено, что амплитуда зондового тока прерывалась скачкообразно, когда до перехода тока разряда через ноль оставалось примерно $10 \div 20$ мкс. Такое поведение сигнала может быть вызвано двумя причинами: первое - это скачкообразное снижение плотности плазмы в зоне действия зондов. Второе - это изменение функции распределения ионов по скоростям. Допустим, что момент начала срыва тока двойного зонда соответствует моменту гибели катодного пятна. Перед этим ионный ток насыщения на отрицательный зонд определяется ионным потоком, генерируемым катодным пятном, т.е. выражением (3.2). В разрядном промежутке быстрые ионы уходят из промежутка за время $2 \div 3$ мкс, после этого ионный ток насыщения становится Бомовским и записывается в виде выражений (3.5). Резкий спад тока объясняется тем, что Бомовский поток ионов на зонд по плотности уступает токам быстрых ионов практически в 3 раза, при одинаковой концентрации плазмы.

Корректно определить ионный ток насыщения вблизи перехода тока через ноль невозможно даже при экстраполяции амплитуды (рис. 3.2. сплошная линия). Относительно надежно можно говорить об ионном токе в диапазоне $0,01 \div 0,015$ А. Исходя из этого, плотность плазмы составит примерно $3 \times 10^{12} \text{ см}^{-3}$ (амплитуда тока дуги до 10 кА). Поэтому появились затруднения при измерении плотности плазмы двойным зондом вблизи перехода тока разряда через ноль. Это указывает на то, что при исследовании относительно редкой (концентрация 10^{12} см^{-3} ниже) плазмы (перед погасанием дуги) измерения двойным зондом не совсем эффективны и корректны. По этой причине будет правильно использовать одиночные зонды.

3.1.2 Результаты исследований одиночными зондами

Как известно, использование двойных зондов позволит регистрировать ионный ток насыщения. Зная ионный ток можно оценить параметры плазмы в течение горения дуги. Однако при приближении тока дуги к нулю и после перехода тока через ноль данная методика не позволяет этого сделать ввиду

того, что сигнал становится, сравним с шумом. В связи с этим, для получения данных о концентрации плазмы в разрядном промежутке регистрировался электронный ток насыщения.

Электронную концентрацию плазмы в зоне расположения зонда можно получить из выражения 3.7 [19]:

$$n_e(t) = \frac{4j_e(t)}{ev_e}, \quad (3.7)$$

где v_e – тепловая скорость электронов:

$$v_e = \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m}}, \quad (3.8)$$

а j_e – плотность электронного тока из плазмы:

$$j_e(t) = \frac{i_p(t)}{S_e(t)}, \quad (3.9)$$

где $i_p(t)$ – ток на зонд, S_e – площадь эмиссионной границы плазмы вокруг зонда.

На рисунке 3.3 показано схематическое расположение зонда в плазме.

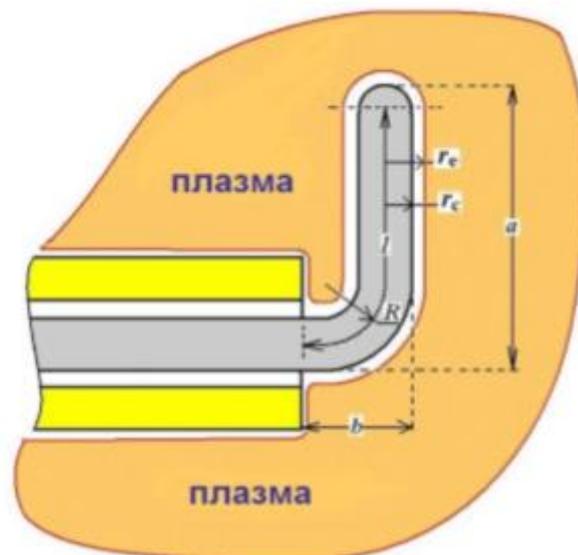


Рис. 3.3. Одиночный зонд, помещенный в плазму.

Если пренебречь толщиной слоя объемного заряда вокруг зонда и принять площадь эмиссионной границы плазмы равной площади зонда, то получим выражение для верхней оценки концентрации электронов в плазме:

$$S_e(t) = \text{const} = S_c = 2\pi r_c(l + r_c), \quad (3.10)$$

где $l = a + b - 3r_c - R(2 - \pi/2)$, (a, b, R - геометрические параметры зондов, рис. 3.3).

В действительности слой объемного заряда может меняться во времени и обладать довольно большими размерами при достаточно высоком положительном потенциале зонда. В связи с этим, для сравнительно точного восстановления концентрации плазмы, оценки границ применимости упрощения (3.10) и оценки пространственного разрешения метода в целом, желательно восстановить толщину слоя объемного электронного заряда вокруг зонда ($r_e - r_c$) и площадь эмиссионной границы плазмы в каждый момент времени. Учитывая вышесказанное, выражение приобретает следующий вид:

$$S_e(t) = 2\pi r_e(t)(l + r_e(t)) \quad (3.11)$$

Расположение границы плазмы r_c вокруг зонда возможно оценить из нижеследующих соображений: если не учитывать концентрацию ионов в слое, то его можно рассматривать в качестве вакуумного диода, где поверхность плазмы – это эмиттер электронов, а поверхность зонда является коллектором. В этом случае выражение Чайлда-Ленгмюра для плотности тока цилиндрического диода запишется в виде:

$$j_c = 2.334 \cdot 10^{-6} \frac{V_0^{3/2}}{r_e r_c \beta^2 \left(\frac{r_e}{r_c} \right)} \quad (3.12)$$

где r_e и r_c – радиусы эмиттера и коллектора, соответственно, V_0 – падение напряжения в слое, $\beta^2(r_e/r_c)$ – табулированная функция [1]. Имея данные $j_c(t) = i_p(t)/S_c$ и $V_0(t)$, с помощью уравнения (3.12) для каждого момента

времени можно найти радиус эмиссионной поверхности плазмы $r_e(t)$. А дальше восстановить площадь эмиссионной поверхности плазмы $S_e(t)$ по (3.11), плотность эмиссионного электронного тока насыщения из плазмы $j_e(t)$ по (3.9) и $n_e(t)$ по (3.7). Стоит отметить, что уравнение (3.12) трансцендентное, и решалось численно, так как содержит табулированную функцию $\beta^2(r_e/r_c)$. Потенциал $V_o(t)$ между зондом и плазмой находился так:

$$V_o(t) = V_p(t) - V_{pl}, \quad (3.13)$$

где $V_o(t)$ – потенциал зонда, восстановление которого осуществляется с помощью осциллограмм по выражению:

$$V_p(t) = \frac{V_c}{i_p(t)R_p}, \quad (3.14)$$

где V_c – напряжение питания зонда. Для расчетов потенциал плазмы V_{pl} равен +10 В. В соответствии с измеренной температурой электронов $kT_e \approx 3$ эВ, среднюю тепловую скорость электронов принимаем равной 10^8 см/с.

Анализируя полученные результаты нашего исследования, в выражении (3.7) плотность электронного тока насыщения из плазмы принимаем равной плотности тока на поверхность зонда:

$$j_e \cong j_p = i_p/S_p \quad (3.15)$$

Представленное приближение – это приближение тонкого призондового слоя объемного заряда, которое хорошо выполняется при токах на зонд 40÷50 мА, т.е. вплоть до концентрации плазмы $\sim 10^{10}$ см⁻³. Принимая во внимание (3.15) выражение (3.7) можно записать в виде:

$$n_e [\text{см}^{-3}] \cong 1.2 \times 10^{12} \cdot i_p [\text{А}] \quad (3.16)$$

Восстановленная концентрация в окрестностях нуля тока по (3.16) показана на рис. 3.4.

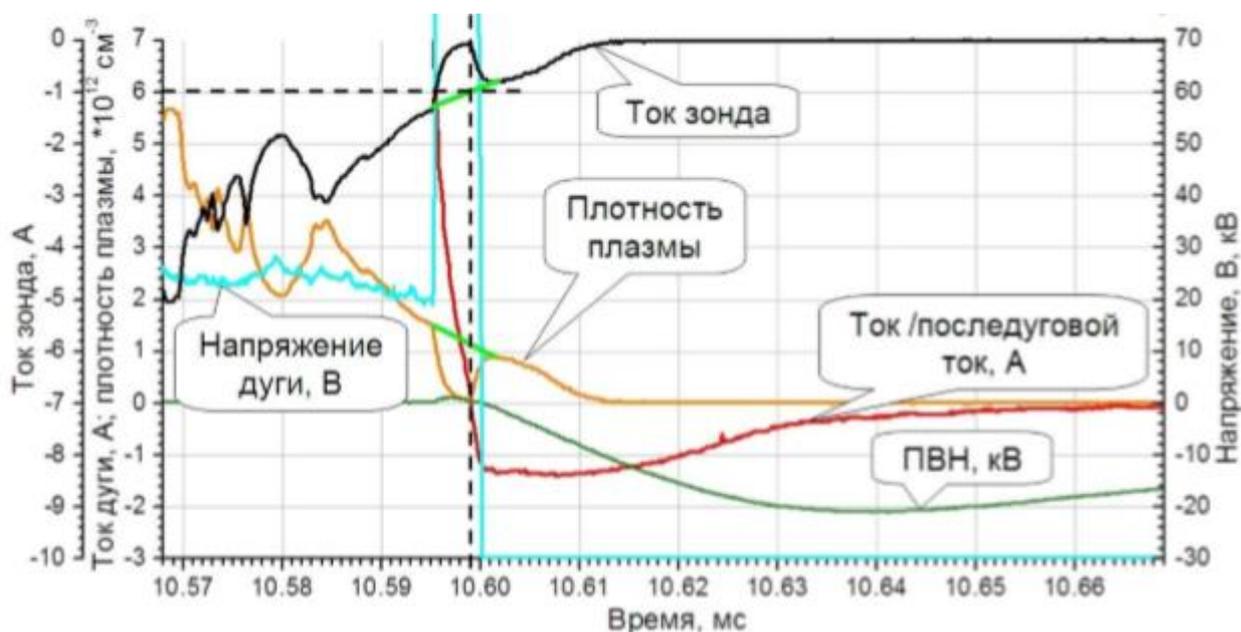


Рис. 3.4. Осциллограмма тока дуги, напряжения, импульса ПВН, тока на зонд и восстановленная по (3.16) плотность плазмы в окрестностях нуля тока. Вертикальная пунктирная линия – переход тока через ноль.

Перед погашением дуги на осциллограмме можно заметить всплеск напряжения. Причиной этого является гибель последнего катодного пятна. В результате электронный ток на зонд прекращается, так как потенциал плазмы становится выше потенциала зонда. Для оценки концентрации плазмы в момент нуля тока можно использовать интерполяцию зондового сигнала (показан зеленым цветом на рис. 3.4). Полученные данные по измерению концентрации плазмы одиночным зондом представлены в таблице 3.1.

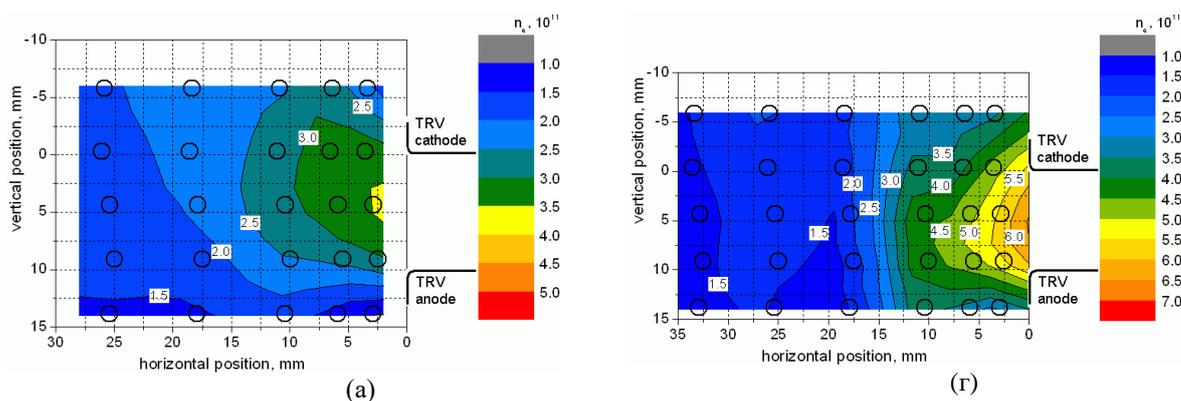
Для получения более точных данных, эксперименты повторялись с числом актов горения дуги от 5 до 10, на все отдельные положения зондов и для амплитуды тока разряда. Затем усредняли результаты тока на зонд по выстрелам и рассчитывали среднее значение тока, которое потом подставляли в выражение (3.16).

Таблица 3.1. Средняя плотность плазмы при различном расстоянии зонда от разрядного промежутка и различной амплитуде тока разряда.

Положение зонда Ток дуги, кА	3 мм		4,5 мм		18 мм	
	Средняя плотность	Отклонение	Средняя плотность	Отклонение	Средняя плотность	Отклонение
8	$9,65 \times 10^{11}$	$\pm 2,33 \times 10^{11}$	—	—	$3,63 \times 10^{11}$	$\pm 2,25 \times 10^{11}$
10	$2,51 \times 10^{12}$	$\pm 1,55 \times 10^{12}$	—	—	$1,23 \times 10^{12}$	$\pm 5,30 \times 10^{11}$
12	$5,50 \times 10^{12}$	$\pm 3,54 \times 10^{12}$	$2,69 \times 10^{12}$	$\pm 1,79 \times 10^{12}$	$3,85 \times 10^{11}$	$\pm 2,12 \times 10^{10}$

Важно заметить, что с возрастанием тока разряда плотность плазмы увеличивается, так как в промежутке выделяется больше энергии. Чем дальше зонд от разрядного промежутка, тем меньше ток на зонд, и, следовательно, меньше концентрация плазмы при одинаковом токе разряда. Таким образом, одиночные зонды Ленгмюра дают возможность получения данных параметров плазмы до и после нуля тока. Расчитанная таким образом концентрация электронов в плазме после обрыва тока дуги не превышают значений 10^{12} см^{-3} . Полученные результаты совпадают с результатами других исследовательских работ [20-22].

Анализ показал (рис. 3.5), что концентрация плазмы в межэлектродном промежутке в нуле тока примерно одинаковая для 8 кА и 10 кА. Однако отключающая способность при 10 кА немного лучше. Из литературы известно [23], что небольшую положительную роль в отключающей способности играет давление пара. Согласно Кобайну, для успешного прерывания тока плотность пара в промежутке должна быть меньше 10^{15} см^{-3} .



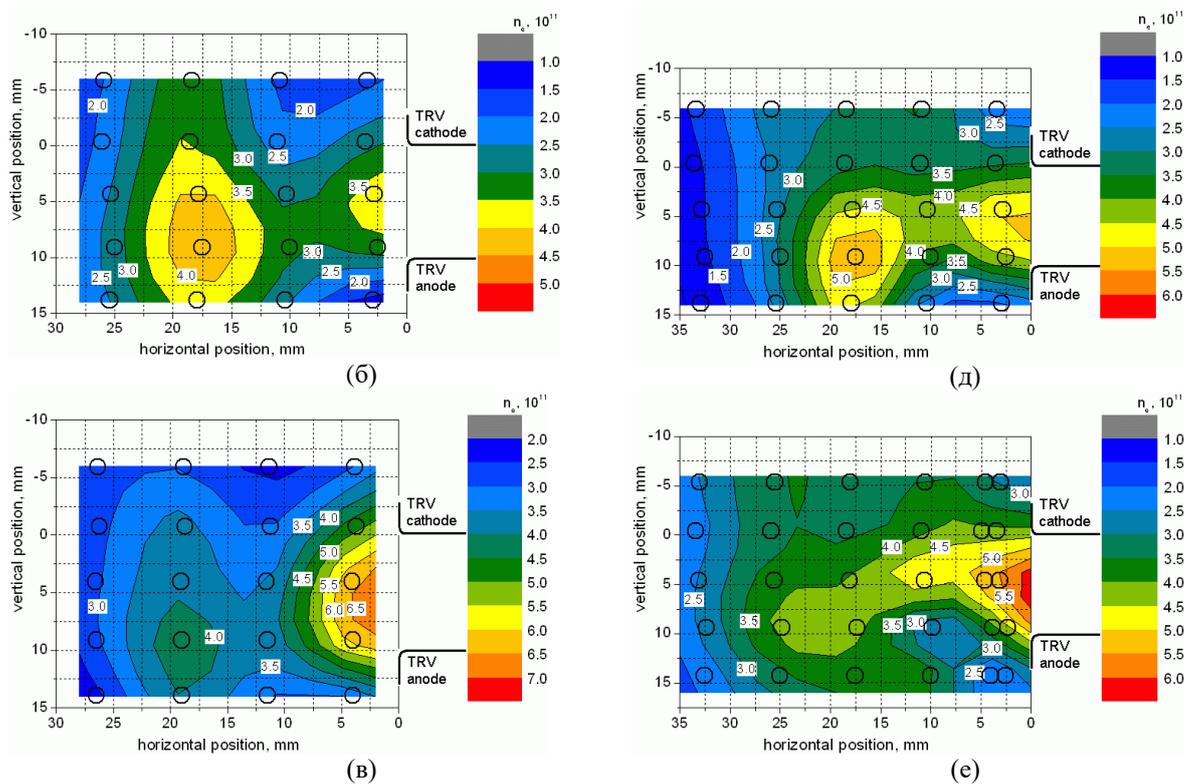


Рис. 3.5. Распределение концентрации плазмы в межэлектродном промежутке непосредственно в нуле тока. Левый столбец (а,б,в) – 8, 10 и 12 кА при заземленном экране; правый столбец (г,д,е) – 8, 10 и 12 кА при экране под потенциалом ПВН. Кругами обозначено положение зондов.

Но даже если плотность пара меньше приведенного значения, пробой может произойти, т.к. испарение материала электрода может способствовать образованию катодного пятна на бывшем аноде [23]. На рис. 3.6 представлена зависимость давления пара от температуры.

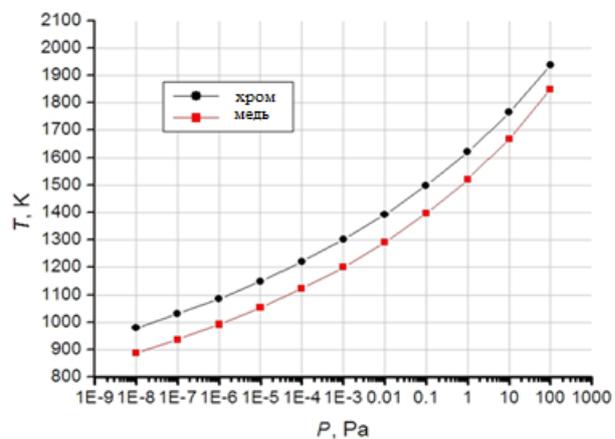


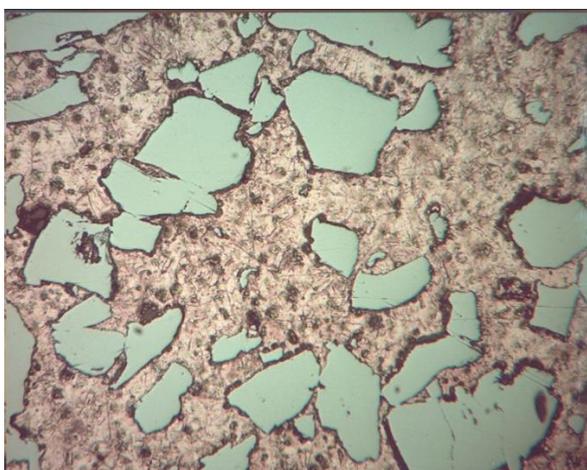
Рис. 3.6. Зависимость давления насыщенных паров от температуры для хрома и меди.

Проведенные ранее исследования [24] показали, что средняя температура поверхности анода составляет 1500 К для 8 кА, 1620 К для 10 кА и 1650 К для 12 кА. Исходя из этих данных и рис. 3.6 видно, что для температуры 1500 К и 1600 К давление отличается на порядок. Из соотношения $p = nkT$ можно восстановить концентрацию пара в промежутке. Так для 15 кА дуги давление паров хрома p (1818 К) ~ 20 Па (при температуре поверхности анода 1818 К) и соответственно $n \sim 7.9 \cdot 10^{14}$ см⁻³. Таким образом, небольшое улучшение отключающей способности для 10 кА в сравнении с 8 кА вероятно связано с тепловым режимом анода, который влияет на образование пара.

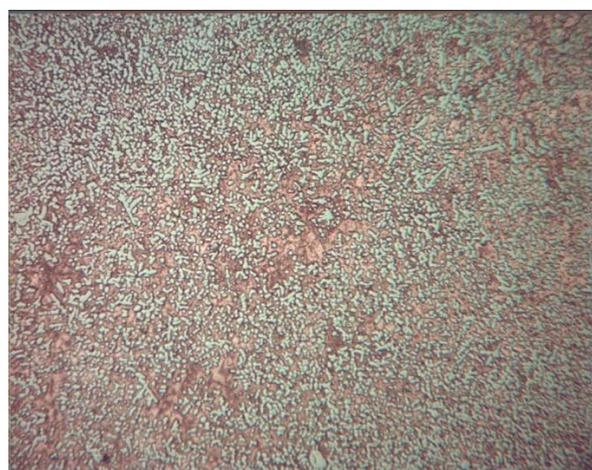
3.2. Влияние свойств контактных материалов на отключающую способность

Сравнительный анализ микроструктуры спеченного и наплавленного CuCr композита выявляет отличия в дисперсности и морфологии хромовых частиц. В спеченном композите частицы хрома имеют осколочную форму, которая определяется технологией изготовления хромового порошка. Дисперсность частиц находится в диапазоне 50-150 мкм. Есть небольшая доля мелких частиц хрома дисперсностью до 10 мкм, присутствующая в исходном хромовом порошке. На границах медных зерен наблюдаются отдельные выделения хрома, которые в основном сосредоточены около крупных частиц хрома. Дисперсность вторичных хромовых выделений составляет около 1 мкм. Вторичные выделения хрома по границам медных зерен в спеченном композите обусловлены некоторым растворением хрома в медной матрице в процессе спекания композита. При твердофазном спекании композита, не превышающем температуру эвтектики 1076,6 °С растворимость хрома в медной матрице составляет около 1,5%. При медленном охлаждении до комнатной температуры растворенный хром выделяется и коагулирует по границам медной матрицы.

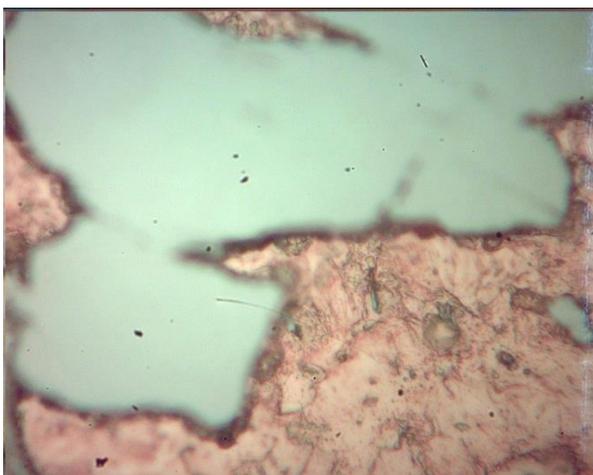
В наплавленном композите хромовые выделения имеют дендритообразную морфологию, которая определяется условиями выделения хрома из жидкого меднохромового раствора. Дисперсность их зависит от скорости охлаждения расплава и в реализуемом процессе электронно-лучевой наплавки составляет 3-5 мкм. Кроме первичных хромовых выделений дендритообразной морфологии в матрице наплавленного композита наблюдаются вторичные выделения сферической морфологии в самих медных зернах и по их границам. Дисперсность вторичных выделений не превышает 500 нм. В процессе электронно-лучевой наплавки образуются жидкие растворы хрома и меди. При резком охлаждении из расплава в первую очередь выделяется хром как более тугоплавкая фаза. Часть хрома остаётся в пересыщенной медной матрице. По данным микрорентгеноспектрального анализа хрома в твердом растворе может быть около 3%. В процессе пайки узлов вакуумной дугогасительной камеры, связанной с нагревом до температуры около 850 °С происходит выделение вторичного хрома в зернах медной матрицы.



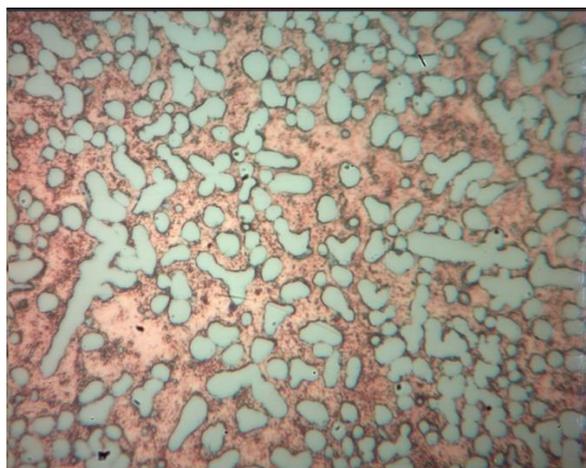
CuCr25 pm x200



CuCr30ebf to x200



CuCr25 pm x1000



CuCr30ebf to x1000

Рис. 3.7. Микроструктура спеченного (слева) и наплавленного (справа) CuCr композита.

Известно, что в вакуумных выключателях причиной среза тока является неустойчивость горения дуги при малых токах, так как она горит в парах металла контактов. Поэтому эксперименты по определению среза тока были сделаны при малых токах горения дуги (2 кА) и относительно небольших значениях переходного напряжения восстановления (6 кВ). Данное условие позволяет более точно определить срез тока, чем при больших амплитудах тока разряда.

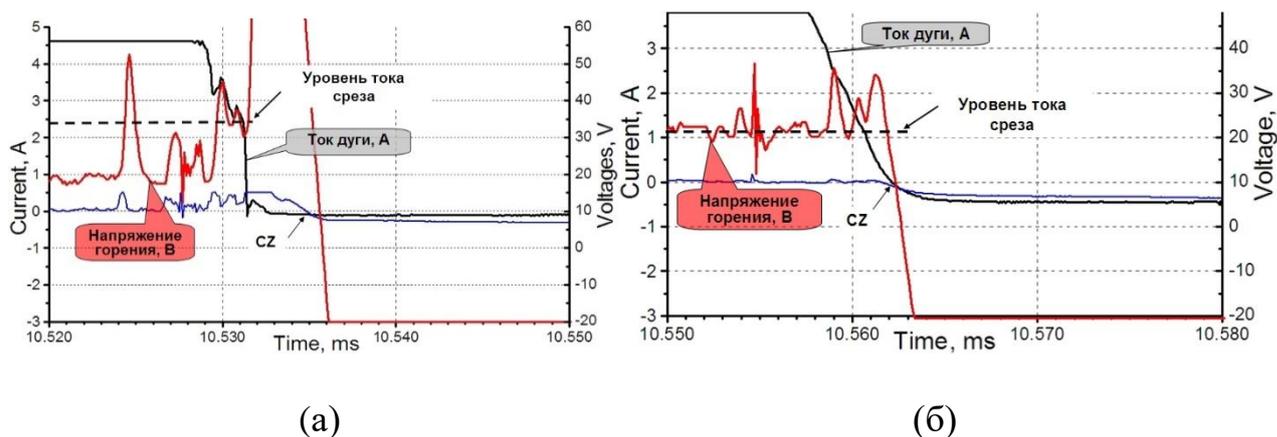


Рис. 3.8. Типичный пример тока среза при горении дуги на спеченных (а) и наплавленных (б) электродах. CZ- ноль тока. Ток дуги 2 кА.

На рис. 3.8 приведены осциллограммы вблизи нуля тока для случая спеченных (а) и наплавленных контактов (б). Анализ осциллограмм показал,

что первые попытки погасания дуги (появление среза тока) лежит в пределах 2,4-3,6 А для спеченных контактов и практически не меняется от выстрела к выстрелу для всей серии экспериментов. Однако в некоторых случаях были выявлены несколько попыток дуги оборваться, при больших токах, чем показано на рис.3.8. Также на рис.3.8 (а) в момент времени 10,524 мс заметен всплеск напряжения, который и характеризует первые попытки дуги оборваться, при этом значения тока составляют величину порядка 10 А.

В случае наплавленных контактов ситуация совершенно другая. В этом случае значения среза тока были более стабильные от выстрела к выстрелу и лежали в пределах 1-1,2 А.

Гибель катодного пятна, как правило, сопровождается всплеском в напряжении горения разряда. Чем ближе к нулю тока происходит гибель пятна, тем меньше всплеск напряжения. На рис.3.9 приведены осциллограммы 2-х различных выстрелов для случая спеченных контактов. Как видно всплеск напряжения перед нулем тока может достигать 200 В и более, что в 10 раз превышает напряжение горения дуги. Всплеск напряжения является достаточно опасным явлением, т.к. межэлектродное пространство заполнено плазмой. Для защиты осциллографа напряжение ограничено уровнем 115 В. Однако можно с помощью интерполяции восстановить пиковые значения напряжений.

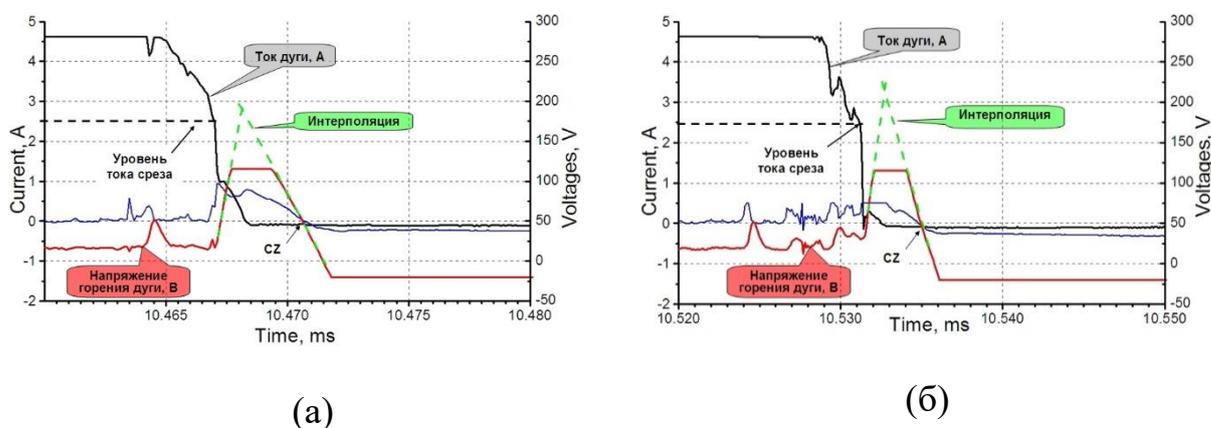


Рис. 3.9. Всплеск напряжения непосредственно перед нулем тока при установленных спеченных контактах для двух разных выстрелов.

Испытания на отключающую способность проводились путем постепенного повышения, как тока разряда, так и напряжения ПВН. В течение экспериментов, при малых токах, поведение контактов было очень близко друг к другу. На обоих типах контактов наблюдался анодный факел, как описано в [25]. Однако при высоких токах и напряжениях начали проявляться отличия. Так при 12 кА тока дуги и 36 кВ ПВН на спеченных контактах происходило 80% пробоев. А при тех же условиях для наплавленных контактов количество пробоев составляло 60% от общего числа выстрелов. Очевидно, что при дальнейшем увеличении тока разряда или напряжения ПВН количество пробоев промежутка увеличится.

**Задание для раздела
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студент:

Группа	ФИО
4НМ61	Марал Думан Дуйсенулы

Инженерной школы новых производственных технологий		Отдел материаловедения	
Уровень образования	магистратура	Направление/ специальность	11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>При проведении научно-исследовательского проекта используется лаборатория вакуумной электроники ИСЭ СО РАН; в исследовании задействованы два человека: научный руководитель и студент;</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Определение концепции проекта, факторов микро- и макросреды, анализ рынка продукта, экспертная оценка эффективности, SWOT-анализ</i>
<i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Проект выполняется в рамках магистерской диссертации, устав не требуется.</i>
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Распланировано управление научно-техническим проектом; отмечены контрольные события проекта; рассчитан бюджет научного исследования;</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<i>Матрица SWOT</i>	
<i>Диаграмма Ганта</i>	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Старикова Екатерина Васильевна	К.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ61	Марал Думан Дуйсенулы		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В текущем разделе рассматривается перспективность научно-технического проекта, которая определяется высокотехнологичностью, ресурсоэффективностью, ресурсосбережением и коммерческой ценностью.

Научно-исследовательская работа заключается в исследовании влияния материала электродов на отключающую способность вакуумной дугогасительной камеры. Научный проект осуществлялся на стенде разработанном на основе синтетической схемы по Вейлю-Доббке в лаборатории вакуумной электроники института сильноточной электроники Российской академии наук.

Изучение гашения дуги и процессов, происходящих после перехода тока через ноль, сохранила свою актуальность до сегодняшнего дня. Решение данной проблемы поможет лучше понять происходящие процессы в вакуумной дугогасительной камере (ВДК), оптимизировать режимы работы и, возможно, усовершенствовать конструкцию ВДК.

Актуальность работы состоит в том, что усовершенствуя свойства материалов контакта мы можем получить более точные и высокие характеристики.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Задачи раздела:

- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- планирование научно-исследовательских работ;

– оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов НИИ

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования являются научные сотрудники, студенты, специалисты в области вакуумной электроники.

Таблица 4.1 Карта сегментирования рынка

		Отрасли, занимающиеся вакуумными выключателями		
		Научные институты	Научно-исследовательские лаборатории	Заводы по производству выключателей
Сфера деятельности по применению контактных материалов	Изучение материалов оборудования	X	x	x
	Изучение свойств контактных материалов	X	x	
	Анализ характеристик выключателей	X	x	
	Использование вакуумных выключателей в промышленных целях			x

Результат сегментирования:

- к основным сегментам данного рынка относится изучение материалов оборудования;
- наиболее перспективным сегментом являются изучение материалов оборудования и использование вакуумных выключателей в промышленных целях;
- сегментом рынка, привлекательных для предприятия в будущем, является использование вакуумных выключателей в промышленных целях не

только в государственных учреждениях, но и в динамично развивающихся, частных компаниях.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Поскольку рынки пребывают в постоянном движении, необходимо систематически проводить детальный анализ существующих конкурирующих разработок.

Благодаря такому анализу можно вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проводится с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 4.2.

Таблица 4.2 Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Критерии оценки	Вес критерии	Баллы			Конкурентоспособность		
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,09				0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07				0,25	0,25	0,25
3. Помехоустойчивость	0,09						
4. Энергоэкономичность	0,01						
5. Надежность	0,03						
6. Уровень шума	0,07						
7. Безопасность	0,07						
8. Потребность в ресурсах памяти	0,01						
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,02				0,12	0,12	0,15
10. Простота эксплуатации	0,04						
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,04				0,25	0,15	0,2

12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,07				0,25	0,1	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1						
2. Уровень проникновения на рынок	0,07						
3. Цена	0,07						
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04				0,1	0,1	0,1
5. Послепродажное обслуживание	0,025						
6. Финансирование научной разработки	0,05				0,05	0,05	0,04
7. Срок выхода на рынок	0,015						
8. Наличие сертификации разработки	0,02				0,05	0,05	0,05
Итого							

После расчёта средневзвешенного показателя, который составил 4,87, можно судить о конкурентоспособности разработки.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Данная разработка сравнивается с традиционными технологиями, в которых используются элегазы, масло и воздух.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле (1):

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad 1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Анализ показал, что как технические, так и экономические критерии данного проекта на нынешний момент развития могут заинтересовать потенциальных покупателей, среди которых научные исследовательские институты, технические ВУЗы и узконаправленные компании. Так же

получилось определить критерии, которые нуждаются в дальнейшей проработке для наилучшего внедрения на рынок.

4.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Улучшение характеристик отключающей способности за счет изменения свойств контактных материалов.</p> <p>С2. Проведение экспериментов на готовом лабораторном стенде</p> <p>С3. Монтаж и эксплуатация установки не требуют значительных затрат, так как используется готовая установка.</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p> <p>С5. При совмещении сильных сторон и возможностей НТИ улучшается энергоэффективность и производительность установки.</p>	<p>Сл1. Большие габаритные параметры установки.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с разработкой</p> <p>Сл3. Не разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки.</p> <p>Сл4. Для проведения исследований и экспериментов необходим персонал с определенным уровнем подготовки, знаний и квалификации.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Научное сотрудничество с другими ВУЗами и НИИ.</p> <p>В2. Применение для собственных нужд лаборатории вакуумной электроники.</p> <p>В3. Появление</p>	<p>Сотрудничество с ВУЗами, НИИ и обмен опытом позволит получить более улучшенный продукт и уменьшит затраты времени на исследования, а появление спроса повлияет на уменьшение стоимости</p>	<p>С помощью сотрудничества с ВУЗами и НИИ можно сократить нехватку квалифицированных кадров и дать возможность работать в лаборатории над разработкой нового более улучшенного продукта.</p>

дополнительного спроса на новый продукт.	материалов и на производительность.	
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий выключателей У3. Возможность создания нового, более улучшенного типа выключательной системы У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	Использование готовой установки снизит затраты на материалы, а высокая производительность и работа с улучшенными контактными материалами имеет значительно большее преимущество над другими выключателями. Широкое использование вакуумных выключателей и их необходимость сокращает вероятность финансовых задержек.	Не разработанный бизнес-план коммерциализации может привести к уменьшению спроса на разработку и ограничить расширение производства, работая только с государственными учреждениями. Число квалифицированных специалистов будет значительно меньше из-за отсутствия спроса на продукт.

По результатам SWOT-анализа можно сделать вывод, что проведение дальнейших исследований и открытие новых перспектив, по усовершенствованию установки и сотрудничеству с ВУЗами и научными исследовательскими институтами могут способствовать выше перечисленным сильным сторонам НИП.

Основными рекомендациями по направлению развития исследования являются:

- Усовершенствование взаимодействия с потребителями и сотрудничество не только внутри страны, но и с другими странами; анализ спроса, стоимости и конкурентоспособности проекта; сбор информации о предпочтениях потребителей и заинтересованности частных организаций.

- Оптимизация организационно – производственного процесса, повышение производительности труда, полное финансирование проекта и уменьшения затрат на этапах производства, сокращение себестоимости продукции.

- Поощрение системы работ по улучшению и контролю качества проекта, стимулирование научно-практической деятельности и совершенствование метода и средств обеспечения.

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

4.3.1 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела были определены ключевые события проекта, их

даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эта информация сведена в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Результат (подтверждающий документ)
1	Постановка ТЗ	Техническое задание
2	Подготовительные работы	Отчеты НИР, патентный Поиск
3	Теоретические и экспериментальные исследования	Проведены теоретические расчёты, которые были подтверждены экспериментальным путём
4	Заключительный этап	Пояснительная записка

4.3.2 План проекта

Планирование управления научно-техническим проектом заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной цели, определение сроков их выполнения. Линейный график представлен в виде таблицы 4.5.

Таблица 4.5 Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2	02.02.2018	03.02.2018	С, НР

Составление и утверждение ТЗ	3	03.02.2018	06.02.2018	С, НР
Подбор и изучение материалов по тематике	20	06.02.2018	26.02.2018	С
Анализ технических возможностей	2	26.02.2018	28.02.2018	НР
Выбор структурной схемы устройства	9	28.02.2018	9.03.2018	С
Выбор принципиальной схемы устройства	14	9.03.2018	23.03.2018	С
Проведение экспериментальных исследований	15	23.03.2018	07.04.2018	С, НР
Анализ полученных результатов	8	07.04.2018	15.04.2018	С, НР
Оформление материала	16	15.04.2018	01.05.2018	С
Подведение итогов	5	01.05.2018	06.05.2018	НР, С

Таблица 4.6 – Календарный план-график

Вид работ	Исполнители	Тк, ал.,	Продолжительность выполнения работ													
			Февраль			Март			Апрель			Май				
Постановка целей и задач, получение исходных данных	С, НР															
Составление и утверждение ТЗ	С, НР															
Подбор, изучение материалов по тематике	С	0														
Анализ технических возможностей	НР															
Выбор структурной схемы устройства	С															
Выбор принципиальной схемы устройства	С	4														
Проведение экспериментальных исследований	С, НР	5														
Анализ полученных результатов	С, НР															

Ч – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле (4):

$$T_k = T_p * k, \quad 4)$$

где T_k – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_p – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле (5):

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} \quad 5)$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел.

Результаты расчетов приведены в Таблица 4.7.

Таблица 4.7 Временные показатели проведения НТИ

№раб.	Исполнители					
		t_{min} чел-дн	t_{max} чел-дн	$t_{ож}$ чел-дн	T_p раб.дн	T_k кал.дн
1	НР, С	4	10	4,4	2,2	3

2	С	14	20	16,4	16,4	24
3	НР, С	4	10	4,4	2,2	3
4	НР, С	14	20	16,4	8,2	12
5	НР, С	4	10	4,4	2,2	3
6	НР, С	50	65	46,7	23,35	34
7	НР, С	14	20	16,4	8,2	12
8	С	19	25	21,4	21,4	31
Итого						122

Таким образом, в проектной деятельности участвуют двое сотрудников: научный руководитель и студент.

4.5 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат: основная заработная плата; отчисления во внебюджетные фонды; расходы на электроэнергию; накладные расходы.

4.5.1 Расчет основной заработной платы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая

ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется положением об оплате труда).

Данные для расчета:

- 1) Оклад: научного руководителя – 24500 руб. (рк), студента – 3500 руб. (рк).
- 2) Плановый фонд рабочего времени за месяц – 176 часов (22 дня);
- 3) Дополнительная заработная плата.
- 4) Районный коэффициент (1,3).

Часовая тарифная ставка ($C_{\text{ч}}$) определяется:

$$C_{\text{ч}} = \frac{\text{Оклад}}{\Phi_{\text{рв}}} \quad 6)$$

где $\Phi_{\text{рв}}$ – плановый фонд рабочего времени за месяц у научно-технического работника, из расчета 22 рабочих дня по 8 часов.

Рассчитаем заработную плату научного руководителя:

Часовая тарифная ставка ($C_{\text{ч}}$):

$$C_{\text{ч}} = \frac{24500}{176} = 139,2 \text{ руб. в час}$$

Определяем заработную плату за час для студента:

$$C_{\text{ч}} = \frac{3500}{176} = 19,88 \text{ руб. в час}$$

$$ЗП_{\text{осн}} = C_{\text{ч}} * t$$

7)

Основная заработная плата за проект у руководителя составит:

Основная заработная плата студента за месяц составит:

где $\Phi_{\text{рв}}$ – плановый фонд рабочего времени за месяц у руководителя, из расчета 22 рабочих дня по 8 часов.

Таблица 4.8 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб. ($C_{\text{ч}} * 8$)	$T_{\text{р}}$, раб. Дн	$Z_{\text{осн}}$, руб.
НР	24500	1,3	31850	1113,6	22	24500

С	3500	-	3500	437,36	22	3500
Итого						28000

4.5.2 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы). Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10- 15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$ЗП_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * ЗП_{\text{осн}} = 24500 * 0,12 = 2940 \text{ руб.}, \quad (8)$$

где $ЗП_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $ЗП_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.9 приведена форма расчёта дополнительной заработной платы.

Таблица 4.9 Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$ЗП_{\text{осн}}$, руб.	$ЗП_{\text{доп}}$, руб
Руководитель	0,12	24500	2940
Итого			2940

4.5.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

9)

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы. Данный коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование.

Итак, отчисления из заработной платы составили:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 27440 = 8232 \text{ руб.}$$

4.5.4 Затраты электроэнергии

Затраты на электроэнергию в денежном выражении рассчитывается по формуле (10) и представлены в Таблица :

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил эл}} \cdot C_{\text{э}}, \tag{10}$$

где $C_{\text{эл}}$ – стоимость одного кВт·часа электроэнергии;

$C_{\text{э}}$ - одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию составляет 4,6 руб/кВт·ч для ИСЭ РАН.

Таблица 4.10 Затраты электроэнергии

Наименование статьи	Затраты электроэнергии, кВт·ч.	Тариф электроэнергии, руб/кВт·ч	Затраты на электроэнергию, руб.
Монтажные работы	50	4,6	230
Пуско-наладочные работы	10	4,6	46
Освещение рабочего места	160	4,6	736
Использование диагностического оборудования	85	4,6	391
Итого			1403

4.5.4 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad 11)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,7 \cdot (24500 + 2940) = 19208 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет бюджета затрат НИТ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	28000
2	Отчисления во внебюджетные фонды	8232
3	Затраты электроэнергии	1403
4	Накладные расходы	19208

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
5	Бюджет затрат НТИ	56843

Выводы по разделу

В текущем разделе был выполнен следующий алгоритм:

- анализ и оценка научно-технического уровня проекта, который показал, что данный проект имеет среднюю значимость теоретического и практического уровня.

- SWOT-анализ выявил наиболее важные проблемы, которые необходимо разрешить в процессе выполнения проекта.

- разработан календарный план проекта (4.5) и построен календарный план-график (Таблица 4.6). В проектной деятельности участвуют двое сотрудников: научный руководитель и студент.

- определена трудоемкость работ, которая составила 122 календарных дней (Таблица 4.7)

- рассчитана смета затрат на научное исследование, таким образом, расходы на научно-технический проект составили 56843 руб.

Следует отметить важность для проекта в целом проведенных в данной главе исследований, которые позволили объективно оценить эффективность проводимых научно-технических исследований.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ61	Марал Думан Дуйсенулы

Школа	Новых производственных технологий	ООП	Техника и физика высоких напряжений
Уровень образования	магистратура	Направление	11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>I. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является структура вакуумного выключателя. Исследования проводились в лаборатории вакуумной электроники ИСЭ РАН. Вакуумные выключатели применяются в электрических <u>станциях</u> и <u>подстанциях</u>.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); <p>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</p>	<p>Условия труда работающих характеризуются возможностью воздействия на них следующих вредных производственных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>повышенный уровень шума</i> Уровень шума на рабочем месте составляет около 70 дБ, Уровень шума и звукового давления не должен превышать 65 дБ. В лаборатории для снижения воздействия шума используют индивидуальные средства защиты, в виде наушников. во время эксперимента персонал находится в кабинете, так как работа установки опасности для здоровья не представляет. Для снижения шума от генератора в лаборатории используется шкаф, в котором установлены генераторы. • <i>неблагоприятные условия микроклимата</i> Исследовательская работа относится к работе средней тяжести (категория Па), микроклиматические условия на рабочих местах должны соответствовать следующим требованиям: в теплый сезон года температура воздуха в помещении – 19-21 °С, относительная влажность воздуха – 40-60 %, скорость движения воздуха не превышает 0,2 м/сек; в холодный сезон года температура воздуха в помещении – 17-19 °С, относительная влажность воздуха – 40-60 %, скорость движения воздуха не превышает 0,2 м/сек. • <i>электромагнитное поле</i> Энергетическая экспозиция излучения в диапазоне частот 30 кГц – 3 МГц согласно СанПиНу 2.2.4.1191-03: $E_E=4800 (В/м)^2 \cdot ч$, по ПДУ $E_E=20000 (В/м)^2 \cdot ч$. $E_H=320 (В/м)^2 \cdot ч$, по ПДУ $E_E=200 (А/м)^2 \cdot ч$. Средства защиты: экранирование, каждая рабочая часть оборудования имеет корпуса. • <i>недостаточная освещенность рабочего места</i> Освещенность в лаборатории согласно нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 составляет 400 лк, достигается с помощью искусственного освещения.
---	---

	<p>Анализ опасных факторов производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>источник термической опасности</i> При выполнении данной работы имеется один очаг термической опасности – это вакуумная камера. При прогреве она нагревается выше 100°C. При необходимости соприкосновения с насосом для выполнения каких-либо работ (ремонт или наладка), насос изначально остывает, после остывания до допустимых значений температуры, приступают к выполнению работы. • <i>повышенное значение напряжения до 400 кВ, электрический ток до 45 кА.</i> Используемые меры и средства защиты: выравнивание потенциалов, электрическое разделение сети, зануление, система защитных проводов, защитное заземление, защитное отключение и средства индивидуальной защиты; • <i>статическое электричество</i> Основной опасностью при электризации различных материалов является возможность возникновения искрового разряда, как с диэлектрической наэлектризованной поверхности, так и с изолированного проводящего объекта. Для предупреждения образования статического электричества на элементах металлических конструкций, трубопроводах разного назначения, расположенных на расстоянии менее 10см параллельно друг друга, применяются замкнутые контуры, создаваемые с помощью устанавливаемых между ними металлических заземленных перемычек через каждые 20 м и менее. Для непрерывного снятия электростатических зарядов с человека используются электропроводящие полы, заземленные зоны или рабочие площадки, оборудование, трапы, а также средства индивидуальной защиты в виде антиэлектростатических халатов и обуви, с кожаной подошвой или подошвой из электропроводной резины. • <i>повышенный уровень ионизирующих излучений</i> При проведении экспериментов в помещении, где располагается выключатель, доза радиации не превышает 5 мкЗв в час (120 мЗв в год при 1700 рабочих часах).
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Селитебная зона выключателя находится на территории лаборатории вакуумной электроники ИСЭ РАН. Воздействий на гидросферу и литосферу выключатель не оказывает, т.к. отсутствуют сбросы в гидросферу и литосферу. Выключатель имеет систему с принудительной конвекцией магнитоэлектрического насоса, в качестве охлаждающей жидкости используется техническая вода. Однако загрязнения воды и канализационных выбросов при работе не происходит. При работе выключателя исключено загрязнение тяжелыми металлами, вредными химическими веществами т.к. никаких опасных веществ при проведении экспериментов не используются. Экологическая безопасность отражена в документе СанПиН 2.6.1.2573-10 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ".</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 	<p>Возможные ЧС на объекте: пожар, короткое замыкание электрической цепи. В качестве наиболее типичной ситуации рассматривается</p>

<ul style="list-style-type: none"> - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>пожар.</p> <p>Превентивные меры по предупреждению возгораний: следить за состоянием электрической проводки, не оставлять без присмотра включенные электронагревательные приборы (паяльник), не пользоваться без навыков горючими и легковоспламеняющимися жидкостями (ацетон, бензин). При возгорании в срочном порядке необходимо сообщить о пожаре по телефону 01, дать сигнал тревоги, принять меры по эвакуации людей. В срочном порядке покинуть помещение. При возможности приступить к устранению пожара с помощью имеющихся средств пожаротушения.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Правовые и организационные вопросы изложены в документе СанПиН 2.6.1.2573-10 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ". Основные положения и требования регламентируются данным документом.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Ахмеджанов Рафик Равильевич	доктор биологических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ61	Марал Думан Дуйсенулы		

5. Социальная ответственность

Введение

В данном разделе рассмотрим экологичность и безопасность научно-исследовательской работы, которая была проведена в лаборатории вакуумной электроники института сильноточной электроники Российской академии наук. Объектом исследования является вакуумный выключатель, оснащенный с вакуумной дугогасительной камерой (ВДК) и генераторами переменного напряжения (источника высокого напряжения).

При облучении контактного материала происходит изменение физических и химических свойств материалов. С помощью облучения твердого тела пучками можно получить новые материалы, которые имеют широкое применение в жизни, в науке, в промышленности.

Актуальность работы состоит в том, что изучение гашения дуги и процессов, происходящих после перехода тока через ноль интересует многих ученых до сегодняшнего дня. Решение данной проблемы поможет лучше понять происходящие процессы в (ВДК), оптимизировать режимы работы и, возможно, усовершенствовать конструкцию ВДК.

Описание рабочего места

Опасные и мешающие факторы будут рассмотрены на примере установки собранной на основе синтетической схемы по Вейлю-Доббке [14]. Установка состоит из двух генераторов переменного напряжения (источника высокого напряжения) и вакуумной камеры с откачивающим насосом. Соответственно в процессе работы можно столкнуться с рядом вредных факторов: шумы и вибрации вследствие работы насосов, электромагнитное поле вследствие работы генератора.

Также присутствуют и опасные факторы: высокое напряжение (генератор), опасность возникновения пожара (повышенные температуры). Опасность поражения электрическим током является наиболее вероятным проявлением чрезвычайной ситуации техногенного характера.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

При выполнении научно-исследовательской работы существует вероятность воздействия следующих производственных факторов: шум, недостаточная освещенность, работа при высоких температурах, физические и эмоциональные перегрузки.

К физическим факторам можно отнести опасность поражения электрическим током, поскольку работать приходится с оборудованием, питающимся от сети -220В 50Гц.

Таблица 5.1 Опасные и вредные факторы при выполнении работ на вакуумном выключателе

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) подготовка вакуумного выключателя для проведения экспериментов; 2) сборка вакуумной системы; 3) эксперименты непосредственно с контактными материалами из CuCr.	1.повышенный уровень шума; 2.неблагоприятные условия микроклимата; 3.повышенный уровень электромагнитного излучения; 4.недостаточная освещенность рабочего места.	1.источник термической опасности; 2.электрический ток; 3.статическое электричество 4.повышенный уровень ионизирующих излучений	1. ГОСТ 12.1.003 - 83* «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности»; 2. Нормы искусственного освещения устанавливаются СП 52.13330.2011; 3. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электро-магнитные поля в производственных условиях» 4.ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» 5.СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; 6.СанПиН 2.6.1.2573-10 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ". 1) 7.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 устанавливает гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы;

На производительность труда влияют следующие вредные производственные факторы:

- повышенный уровень шума;
- неблагоприятные условия микроклимата;
- повышенный уровень электромагнитного излучения;
- недостаточная освещенность рабочего места.

Повышенный уровень шума

Шум – совокупность аperiodических звуков различной интенсивности и частоты. С физиологической точки зрения шум – это всякий неблагоприятный воспринимаемый звук [28].

Источником шума является любой процесс, вызывающий местное изменение давления или механические колебания в твердых, жидких и газообразных средах. Шум имеет определенную частоту, или спектр, выражаемый в герцах, и интенсивность — уровень звукового давления, измеряемый в децибелах. Для человека область слышимых звуков определяется в интервале от 16 до 20 000 Гц.

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются, насосы, вытяжка, генераторы напряжения.

Шум оказывает на организм человека неблагоприятное воздействие и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость и глухоту. Длительное воздействие шума оказывает вредное влияние на ЦНС и психику человека. В результате воздействия шума у человека появляются симптомы переутомления и истощения нервной системы. Со стороны психики наблюдается подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная возбудимость. Шум снижает работоспособность и производительность труда.

При выполнении экспериментов в лаборатории уровень шума составляет около 70 дБ. Для обеспечения гигиенической нормы шума при выполнении экспериментов в лабораториях необходимо пользоваться ГОСТ 12.1.003 - 83* «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» и СН

2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий» согласно данным нормативным документам уровень шума в лабораториях не должен превышать 65 дБ [29].

В лаборатории для снижения воздействия шума используют индивидуальные средства защиты, в виде наушников. во время эксперимента персонал находится в кабинете, так как работа установки опасности для здоровья не представляет. Для снижения шума от генератора в лаборатории используется шкаф, в котором установлены генераторы.

Неблагоприятные условия микроклимата

Независимо от состояния природных метеорологических условий в производственных помещениях и на рабочих местах должны быть созданы климатические условия, безопасные для человека и наиболее благоприятные для выполнения работы [30].

Под микроклиматом понимаются метеорологические условия внутренней среды рабочего помещения, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения.

Согласно СанПиНу 2.2.4.548-96 на любом рабочем месте должен осуществляться надзор по соблюдению санитарных правил. Исследовательская работа относится к работе средней тяжести (категория Па), микроклиматические условия на рабочих местах должны соответствовать требованиям, указанным в Таблица 2.

Таблица 5.2 Оптимальные метеорологические условия для рабочей зоны согласно ГОСТ 12.1.005

Параметр.	Сезон года.	
	Холодный.	Тёплый.
	Оптим.	Оптим.
Температура, °С.	17-19	19-21
Влажность, %.	60-40	60-40
Скорость воздуха, м/с	0,2	0,2

При обеспечении допустимых показателей микроклимата температура внутренних поверхностей конструкции, ограждающих рабочую зону (стен, потолка, пола) не должна превышать предел допустимых величин температуры воздуха.

В холодный период года следует применять средства защиты рабочего места от радиационного охлаждения от остекленных поверхностей оконных проемов, в теплый период от попадания прямых солнечных лучей.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей оборудования, осветительных приборов не должна превышать 70Вт/м при величине облучения поверхности от 25 % до 50 % на постоянных рабочих местах [31].

Температура в рабочей зоне поддерживается отоплением в холодный период и вентиляцией в теплый период.

Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное поле при длительном воздействии на организм человека ухудшает работоспособность (повышается утомляемость, снижается качество выполняемых работ, возникают психологические расстройства).

Как и у многих вакуумных установок, в вакуумном выключателе есть электромагнитное поле. Предельно-допустимые значения электромагнитного поля регламентируются в специальном документе - СанПиН 2.2.4.1191-03. Существуют следующие нормы при разных частотах:

- 30–300 кГц — это напряжённость поля 25 В/м;
- 0,3–3 мгц — 15 В/м;
- 3–30 мгц — 10 В/м;
- 30–300 МГц — 3 В/м;
- от 300 мгц 300 ГГц — 10 мкВт/см².

В случае превышения данных показателей могут возникнуть различные проблемы со здоровьем человека. Самое опасное в электромагнитном поле это

то, что его невозможно ощутить. Тем самым эффект (ухудшение здоровья) накапливается незаметно.

Для минимизации воздействия электромагнитного поля выключатель находится в металлическом корпусе, являющимся защитным экраном от электромагнитного излучения.

Недостаточная освещенность рабочего места

Свет является естественным условием жизни человека, необходимым для здоровья и высокой производительности труда, основанной на работе зрительного анализатора, самого тонкого и универсального органа чувств. Обеспечивая непосредственную связь организма с окружающим миром, свет является сигнальным раздражителем для органа зрения и организма. В целом достаточное освещение действует тонизирующе, улучшает протекание основных процессов тела, стимулирует обменные и иммунобиологические процессы, оказывает влияние на формирование суточного ритма физиологических функции человека [32].

Предельно-допустимые значения освещения на рабочем месте нормируется в специальном документе – СП 52.13330.2011. Нормы освещенности рабочих помещений представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Нормы освещенности производственных помещений [33]

	Характеристики зрительной работы	Наименьший размер или объект различения	Разряд зрительной работы	Под-разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристики фона	Освещенность, лк
Рабочее место в кабинете	Высокой точности	От 0.3 до 0.5	<u>III</u>		Малый, средний, большой	Светлый, средний, темный	200

Для улучшения показателей освещения, необходимо использовать искусственное освещение в виде светильников, дополнительного внешнего освещения. Освещенность рабочего места от искусственного освещения соответствует характеристике зрительной работы, наименьшему размеру

объекта различения, разряду зрительной работы, контрасту объектов с фоном, а также характеристике фона как мы видим в таблице 5.3

5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов производственной среды

Источник термической опасности

Термической опасности – это опасность, возникающая при горении, повышенной температуре поверхности и повышенной температуры вдыхаемого газа.

Термические опасности могут приводить к:

- ожогам и ошпариванию из-за соприкосновения с предметами или материалами, имеющими чрезвычайно высокую или низкую температуру, вызванную, например, пламенем или взрывом, а также излучением источников тепла;

- ущерб здоровью из-за воздействия высокой или низкой температуры окружающей производственной среды.

В данной выпускной квалификационной работе имеется один очаг термической опасности – это вакуумная камера. При прогреве она нагревается выше 100°C, данная температура опасна при соприкосновении и может привести к ожогам так и ошпариванию мягкой ткани человека.

Работа камеры осуществляется в закрытом корпусе и рабочему персоналу сложно подобраться к месту излучение тепла. При необходимости соприкосновения с насосом для выполнения каких-либо работ (ремонт или наладка) изначально дают остыть, после остывания до допустимых значений температуры, преступают к выполнению работы.

Электрический ток

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под

напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА [34].

Одной из особенностей поражения электрическим током является отсутствие внешних признаков, грозящих опасности, которые человек мог бы заблаговременно обнаружить с помощью органов чувств.

Ток приводит к серьезным повреждениям центральной нервной системы таких жизненно важных органов как сердце и легкие. Поэтому второй особенностью воздействия тока на человека является тяжесть поражения.

Третья особенность поражения человека электрическим током заключается в том, что токи промышленной частоты силой в 10-15мА способны вызвать резко интенсивные судороги мышц.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токоведущими частями.

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

- применение изоляции;
- недоступность токоведущих частей;
- изоляция электрических частей от земли.

В отношении опасности поражения людей электрическим током различаются [35]:

1 Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность;

2 Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием в них одного или следующих условий, создающих повышенную опасность:

- а) сырости или токопроводящей пыли;

б) токопроводящих полов (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);

в) высокой температуры;

г) возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования,- с другой.

3 Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

а) особой сырости;

б) химически активной или органической среды;

в) одновременно двух или более условий повышенной опасности;

4 Территории размещения наружных электроустановок. В отношении опасности поражения людей электрическим током эти территории приравниваются к особо опасным помещениям.

Рабочее помещение лаборатория в отношении опасности поражения людей электрическим током относится к 1 группе, т.е. без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность. Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы.

Статическое электричество

Статическое электричество - это совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности, или в объеме диэлектриков, или на изолированных проводниках (ГОСТ 12.1.018). Образование и накопление зарядов на перерабатываемом материале связано с двумя следующими условиями:

Заряды статического электричества могут накапливаться и на теле человека (при работе или контакте с наэлектризованными материалами и

изделиями). Высокое поверхностное сопротивление тканей человека затрудняет отекание зарядов, и человек может длительное время находиться под большим потенциалом [36].

Основной опасностью при электризации различных материалов является возможность возникновения искрового разряда, как с диэлектрической наэлектризованной поверхности, так и с изолированного проводящего объекта.

Для предупреждения образования статического электричества на элементах металлических конструкций, трубопроводах разного назначения, расположенных на расстоянии менее 10см параллельно друг друга, применяются замкнутые контуры, создаваемые с помощью устанавливаемых между ними металлических заземленных перемычек через каждые 20м и менее. Для непрерывного снятия электростатических зарядов с человека используются электропроводящие полы, заземленные зоны или рабочие площадки, оборудование, трапы, а также средства индивидуальной защиты в виде антиэлектростатических халатов и обуви, с кожаной подошвой или подошвой из электропроводной резины.

Повышенный уровень ионизирующих излучений

При выполнении работы также нужно учитывать радиационное излучение, обусловленное возможностью облучение персонала тормозным излучением, возникающим при попадании ионного пучка на катод диода и мишень.

Радиационное излучение оказывает сильнейшее ионизирующее действие на человека. Механизм разрушительного действия гамма-квантов заключается в следующем:

- 1) Благодаря огромной проникающей способности «энергичные» гамма-кванты легко проникают в живые клетки, вызывая их повреждение и отравление.

2) По пути своего движения они оставляют разрушенные ими молекулы (ионы). Эти повреждённые частицы ионизируют новую порцию молекул.

3) Такая трансформация клеток вызывает сильнейшие изменения в её различных структурах. А изменившиеся или разрушенные составные части облучённых клеток разлагаются и начинают действовать как яды.

4) Заключительным этапом является рождение новых, но дефектных клеток, которые не могут выполнять необходимые функции.

Опасность гамма-излучения усугубляется отсутствием у человека механизма способного ощутить это воздействие вплоть до смертельных доз. Особая опасность гамма-излучения заключается в его способности накапливаться в организме, а также наличие скрытого периода воздействия.

Нормами радиационной безопасности СП.2.6.25.23-09 (НРБ-99/2009) устанавливаются следующие категории облучаемых лиц[37]:

персонал:

1) лица, работающие с техногенными источниками (группа А);

2) лица, по условиям работы находящиеся в сфере воздействия источников (группа Б).

население – все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности (студенты относятся к группе население).

Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни группы Б, не должны превышать $\frac{1}{4}$ значения для персонала группы А.

Таблица 5.4 – Основные пределы доз[37]

Нормируемые величины	Дозовые пределы	
	Персонал группы А	население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год.	1,0 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5,0 мЗв в год.
Эквивалентная доза за год		
- в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
- в коже	500 мЗв	50 мЗв

Радиационная защита ускорителей элементарных частиц выполняется так, чтобы обеспечить суммарную дозу облучения для персонала и населения не превышающую 20 мЗв в год для персонала группы А, и 5 мЗв в год для персонала группы Б, и 1 мЗв в год для населения. Все эти данные регламентируются документом НРБ-99/2009. Также следует учитывать время, в течении которого ускоритель будет работать с коэффициентом запас равным 2.

2. Расчет радиационной защиты производится с помощью СанПиН 2.6.1.2573-10.

При проведении экспериментов в помещении, где располагается ускоритель, доза радиации не превышает 5 мкЗв в час (120 мЗв в год при 1700 рабочих часах). Во избежание облучения при работе используется средство коллективной защиты: защищенное место от воздействия радиационного излучения, где рабочий персонал находится в пультовой, отделенной от установки толстой бетонной стеной и металлической дверью, не пропускающих рентгеновское тормозное излучение, в которой доза радиации не превышает 1 мЗв в час.

5.2 Экологическая безопасность

Вакуумный выключатель имеет систему с принудительной конвекцией магниторазрядного насоса, который создает вакуум в камере, и в качестве охлаждающей жидкости используется техническая вода. Однако загрязнения воды и канализационных выбросов при работе не происходит. Также в лаборатории в процессе работы не образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли, так как вся работа происходит внутри оборудования. В результате выполнения работы, наличие отходов не планируется.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Среди возможных ЧС наиболее вероятным является возникновение пожара. Пожар может произойти вследствие перегрева электродов или проблем с изоляцией. В лаборатории используется баллон с азотом в работе при основных и газовых разрядниках. Имеется инструкция по технике

безопасности для работников, использующих при работе баллонов со сжатыми и сжиженными газами.

На рабочем месте баллоны должны находиться в металлических шкафах или в специально оборудованных местах, обеспечивающих их защиту от воздействия солнечных лучей, осадков, нагревания, механического воздействия и падения. В свою очередь баллоны должны быть надежно укреплены с помощью хомутов, цепочки или троса. Расстояние от ближайшего радиатора или отопительного прибора до баллона должно быть не менее 1 м, от газовых горелок – не менее 1,5 м, от печей и других источников тепла с открытым пламенем – не менее 5 м. Работа с газами, находящимися в баллонах, опасна и требует большой осторожности, внимания и соблюдения установленных правил и инструкций.

Помещение лаборатории имеет категорию В [Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"[38].

Для предотвращения возникновения пожара применяются следующие шаги: проверка персонала на предмет знаний пожарной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами, плановый осмотр установок.

Экспериментальная установка устойчива к возникновению пожара, т.к., все токоведущие части надежно изолированы и проверяются согласно плану. Если все же возникнет пожар, персонал будет действовать в следующем порядке:

- Вызвать пожарный расчет;
- Отключить все электроустановки;
- Закрыть окна и двери, чтобы убрать сквозняк и доступ кислорода для горения;
- Воспользоваться первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ОУ-5-ВСЕ). При невозможности - начать эвакуацию.

Заключение

С использованием одиночного и двойного зондов Ленгмюра измерена температура электронов в течение времени горения сильноточной вакуумной дуги и восстановлена концентрация плазмы в окрестностях нуля тока. Найдено, что температура электронов составляет величину порядка 3 эВ и не зависит от тока разряда и момента измерения. Концентрация плазмы вблизи перехода тока дуги через ноль составляет величину менее 10^{12} см⁻³.

Контакты, изготовленные путем электронно-лучевой наплавки, имеют лучшую отключающую способность на 25 % по сравнению со спеченными контактами.

Благодаря более мелкозернистой структуре хромовых выделений обеспечивается более стабильное функционирование катодных пятен. В результате происходит снижение значений тока среза в 2-3 раза.

Внедрение технологии электронно-лучевой наплавки в производстве ВДК позволит повысить коммутационные характеристики и показатели надёжности вакуумных выключателей.

Список публикаций студента

1. Шнайдер А.В., Попов С.А., Лавринович В.А., Марал Д.Д. Исследование закономерности свечения анодного пятна сильноточной вакуумной дуги методом высокоскоростной регистрации. – Известия высших учебных заведений. Физика. – Томск 2018.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Электротехнический справочник / под ред. И.Н. Орлова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – Т. 2. – 711 с.
2. Чунихин, А.А. Электрические аппараты / А.А. Чунихин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
3. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / под ред. В.В. Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.
4. Румянцев, Д.Е. Современное вакуумное коммутационное электротехническое оборудование сетей и подстанций / Д.Е. Румянцев. – М.: ИПК госслужбы, 2000. – 71 с.
5. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С.Л. Кужеков. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 492 с.
6. http://www.tavrida.ee/doc/article_pishchur_HIGH%20CURRENT%20VACUUM%20ARC_ru.pdf
7. W. F. Rieder, M. Schussek, W. Glatzle, and E. Kny, "The Influence of Composition and Cr Particle-Size of Cu/Cr Contacts on Chopping Current, Contact Resistance, and Breakdown Voltage in Vacuum Interrupters," IEEE Transactions on Components Hybrids and Manufacturing Technology, vol. 12, pp. 273-283, 1989.
8. Baihe Miao Yan Zhang et al., Two New Cu-Cr Alloy Contact Materials, High Voltage Apparatus, Vol.36, No.3 pp.60-62, 2000; and Proceedings of XIXth ISDEIV, Xi'an Jiaotong University, Vol. 2, 2000, pp.729-732.
9. R. Muller, Arc-Melted CuCr Alloy Contact Materials for Vacuum Interrupters, Siemens Forsch.-u. Entwickl.-Ber. Bd. 17, Nr. 3, pp.105-111, 1988.
10. Li Yu, Jianhua Wang, Yingsan Geng, Guowei Kong, and Zhiyuan Liu High Current Vacuum Arc Phenomena of Nanocrystalline CuCr25 Contact Material XXIVth Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum - Braunschweig – 2010 pp.257-260.
11. S.Z. Dekhonova, V.G. Durakov and S.F. Gnysov. Formation of the bimodal structure of a Cu – Cr pseudoalloy by electron beam surfacing // Welding

- International 2004. 18 (3), p.228-231 (Selected from Svarochnoe Proizvodstvo 2003. 47 (10), 19-23)
12. Correia J.B., Davies H.A., Sellars C.M. The microstructure and properties of water atomized and extruded CuCr alloy powders // Materials Science and Engineering. A. – 1991. – №133. – P. 265–269.
 13. Stobrawa J., Ciura L., Rdzawski Z. Rapidly solidified strips of CuCr alloys // Scripta Materialia. – 1996. – №34. – P. 1759–1763.
 14. Slade P.G. The Vacuum Interrupter. Theory, Design, and Application / P.G. Slade -NY: CRC Press, 2008, ch. 2.
 15. Schneider A.V. Diagnostics of the Cathode Sheath Expansion after Current Zero in a Vacuum Circuit Breaker / A.V. Schneider, S.A. Popov, A.V. Batrakov, G. Sandolache, and S. W. Rowe // IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 39, no 6, pp. 1349-1353, June 2011.
 16. Шнайдер А.В. Зондовый метод диагностики катодного слоя после нуля тока вакуумной дуги / А.В. Шнайдер, С.А. Попов, А.В. Батраков // Известия ВУЗов. Физика, 2013. Т. 56. № 7-2. С. 373-378.
 17. Козлов О.В. Электрический зонд в плазме. // О.В. Козлов - Москва. Атомиздат, 1969
 18. S.Z. Dekhonova, V.G. Durakov and S.F. Gnysov. Formation of the bimodal structure of a Cu – Cr pseudo alloy by electron beam surfacing // Welding International 2004. 18 (3), p.228-231 (Selected from Svarochnoe Proizvodstvo 2003. 47 (10), 19-23)
 19. Проскуровский Д.И. Эмиссионная электроника. Учеб. Пособие для ВУЗов / Д.И. Проскуровский – 2-е изд., испр. и доп. – Томск: Томский государственный университет, 2010. – 288 с.
 20. Arai K. Probe measurement of residual plasma of a magnetically confined high-current vacuum arc / K. Arai, S. Takahashi, O. Morimiya, and Y. Niwa // IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 31, no. 5, pp. 929–933, Oct. 2003.
 21. Klajn A. Langmuir probes in switching vacuum arc measurements / A. Klajn // IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 33, no. 5, pp. 1611–1617, Oct. 2005.

22. Duening G. Plasma Density Decay of Vacuum Discharges after Current Zero / G. Duening and M. Lindmayer // IEEE Trans. Plasma Science, 1999, vol. 27, No. 4, pp. 923–929
23. Вакуумные дуги / Под ред. Дж. Лафферти. М.: Мир, 1982. 432 с.
24. Schneider A.V., Popov S.A., Batrakov A.V., Sandolache G., and Schellekens H. // IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 41, no 8, pp. 2022-2028, August 2013.
25. Ding B., Yang Z., Wang X. // IEEE Trans. CPMT, 1996, 19(1): pp.76–81.
26. Дубовцев В.А. Безопасность жизнедеятельности. / Учеб. пособие для дипломников. - Киров: изд. КирПИ, 1992.
27. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
28. Безопасность жизнедеятельности: Учебник/Под ред. проф. Э.А. Арустамова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2006.
29. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
30. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещениях» от 1 октября 1996г. №21.
31. СНиП 23 – 05 –95*. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 2011.
32. ГОСТ 12.1.002 – 84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
33. ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
34. ГОСТ 12.1.018-93 ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества.
35. СП 2.6.1–758–99. Нормы радиационной безопасности, НРБ–99. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999.

36. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности". Статья 19. Классификация взрывоопасных зон.
37. Paul G. Slade, Advances in Material Development for High Power Vacuum Interrupter Contacts, IEEE Trans. on CPMT, Vol. 17, Part A, pp.96-106, 1994.
38. H. Schellekens 50 Years of TMF Contacts Design Considerations // XXIII-rd Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum – Bucharest – 2008.
39. A.V. Batrakov, S.A. Popov, A.V. Schneider, G. Sandolache, and S. W. Rowe, "Observation of the Plasma Plume at the Anode of High-Current Vacuum Arc," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 39, no 6, pp. 1291-1295, June 2011.

Приложение А

The influence of the electrode material on the breaking capacity of the vacuum arc chute chamber

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ61	Марал Д.Д.		

Консультант - лингвист отделения иностранных языков:

Должность	Ф.И.О.	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Парнюгин Александр Сергеевич	кандидат педагогических наук		

Introduction

Vacuum circuit breaker (VCB) - a high-voltage switch in which the vacuum serves as a medium for damping the electric arc. VCB is designed for switching (turn on / off operations) of electric current - rated current and short circuit currents in electrical installations. A good contact material for the VCB must meet certain requirements. However, sometimes these many necessary qualities turn out to be contradictory. Therefore, it is necessary to find an acceptable compromise for a particular application in accordance with the choice of priority properties. At present, the greatest trade-off is achieved with the use of composites, and CuCr composites are most widely used for automatic switches. Composites of the CuCr family have proven to be the best materials for circuit breakers and, it seems, will not be replaced by any other materials in the near future, despite the fact that research and development in this field continues.

CuCr25 composites are widely used as contact materials for medium voltage vacuum interrupters. The contact materials must possess both high erosion resistance and good breaking capacity [37]. However Cu and Cr is mutually insoluble and therefore CuCr-alloys manufactured conventional powder metallurgical technique have coarse structure and own low interface relationship impairing electrical strength of the contact material. Numerous research works in this field reveal that the improved performance of vacuum interrupters can be achieved by using Cu/Cr composite contacts remelted in vacuum. Melting in vacuum leads both to affinage and stronger bonding on semicoherent Cu/Cr interface. Refining chromium grain to the nanosize scale allows both increasing the breakdown strength and reducing current chopping which serves for improving the interruption ability of the vacuum interrupters [7-10]. The nonequilibrium condition process used now for manufacturing nanocrystalline contact material such as spinning or mechanical alloying demonstrates good interruption ability on the prototypes, but still they are way off the wide commercial using. The arc melting of the composite Cu/Cr-alloy in a low pressure environment with following extrusion

of ingot [9] allows obtaining a virtually gas-free material. Due to patent protection, this material was not available for large community [38].

The electron-beam facing (EBF) has an advantage [11] which allows forming a contact CuCr alloy on the surface of a copper substrate. The result of vacuum melting the CuCr mixture is depuration of the contact material and recovery highly supersaturated solid solution of chromium in the copper matrix and better dispersion of Cr particles in a small molten pool due to fast crystallization. The objective is conduct comparative tests of the sintered contact material and contacts made by the EBF.

Contact materials

In vacuum switches, the arc burns in metal vapor, as a result of which its properties are significantly affected by the properties of the contact material. Refractory contact materials (such as tungsten) have a high arc resistance, but they have a high arc resistance, resulting in overvoltages. To reduce the shear current, special compositions have been developed that do not form solid solutions with basic components. Methods of powder metallurgy with the use of vacuum technology make it possible to create compositions with predetermined characteristics.

The following requirements are imposed on the material of contacts of vacuum circuit breakers:

- the boiling point of all components of the composite material must be $T_{\text{boil}} < 3500$ K (to ensure high breaking capacity);
- Brinell hardness should not be less than 1000 MPa, and no micro-point should be formed (to ensure high electrical strength of the inter-contact gap);
- the material must contain a certain amount of such a component with a high electrical conductivity, which does not form with other components of solutions and chemical compounds (to provide low transient resistance);
- the material must contain brittle components that reduce the strength of the welded joint (to ensure high resistance to welding);

- the material (to ensure high erosion resistance) should consist of components in which the coefficients of accumulation of heat

$$k_a = \sqrt{\lambda_M c_M \gamma_M}$$

differ not less than twice; - the contact material (to provide low shear current) should include a component that does not interact with other components and has a low cutoff criterion $T_{boil} k_a$.

Contacts VCB most of the time are in a closed state, and their clean and unoxidized surfaces are very prone to cold welding. Welding can also occur during a spark breakdown at the moment of closing, when the contacts approach. This problem is solved by adding a small amount of impurities to the contact material. To reduce the cutting current, it is necessary to introduce into the contact material highly volatile additives that do not form solid solutions with the main components. Figure 1.2 shows the dependence of the shear current on the cut-off current for various materials.

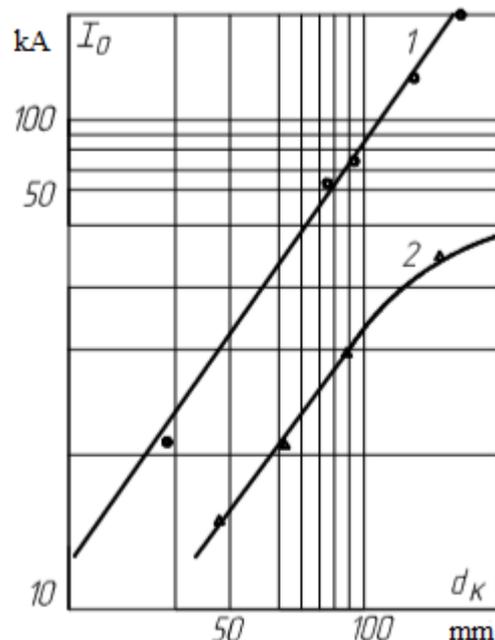


Figure 1.1 - Dependent switching current for two types of magnetic blast

From Figure 1.2, it can be seen that with longitudinal magnetic blast the switched currents rise to 100 kA or more (curve I), while for transverse magnetic blast the switched currents do not exceed 50 kA (curve 2).

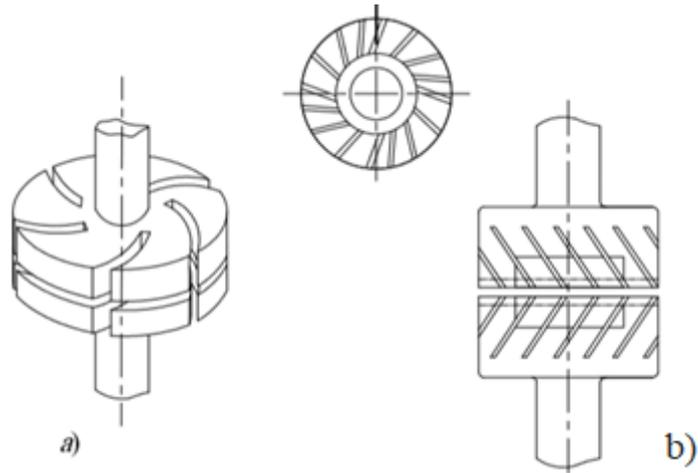


Figure 1.2 - Contacts with a transverse and longitudinal magnetic field.

The most widely used are two types of contacts: a spiral petal contact system that compels the compressed arc to rotate continuously over the surface of the electrodes, and a cup-type contact system, which generally prevents the formation of a compressed localized arc that remains due to this during the entire arc extinguishing process in the diffuse state .

Experimental

In the paper used on one side conventional electrical contacts CuCr25, produced by solid-phase sintering in a hydrogen atmosphere, and used by the "Electrocomplex" Minusinsk in manufacturing of vacuum circuit breakers. On the other hand, used contacts CuCr25, fabricated by electron beam facing according to the method developed at the Institute of Strength Physics and Materials Science.

The electric contacts were made using the electron beam facing which involved feeding the Cu/Cr powder mixture to the molten pool already formed on surface copper substrate under the action of the scanning electron beam. The facing was carried out in a way that allowed forming an Archimedean spiral path on the surface of 80 mm diameter and 10 mm thickness specimen according to method described elsewhere [11]. The temperature of the substrate was controlled by thermocouple inserted in the closed hole in the centre of the disk.

From industrial sintered performs and experimental electron-beam facing pieces cut out discs with a diameter of 22 mm, which are then soldered to the holder and tested for breaking capacity. In addition, determine the number of cathode spots on the facing and sintered contact materials. The microstructure was examined using optical microscope Olyimpus GX51 attached with image analyzer SIAMS 700.

Experiments were carried out on an experimental stand, which is based on the Weil-Dobke synthetic circuit. Low-voltage high-current circuit is formed by the L_1C_1 elements with thyristor switch. The shape of the current pulse is close to the harmonic with duration of 10 ms, which corresponds to the industrial frequency of alternating current.

High-voltage low-current circuit (TRV circuit) is formed by the elements of L_2C_2 with the gas-filled trigatron discharger. This circuit generates a harmonic current pulse. The shape and amplitude of the pulse can be changed. High-voltage and low voltage circuit of the setup were separated from each other.

Discharge gap was formed by two identical copper-chromium contacts with a diameter of 22 mm placed in a vacuum chamber. One of the contacts was moving, and another was isolated with using a high-voltage input. The arc in the gap was initiated by separation of the contacts with a rate 1 m/s and which remained practically constant during 10 ms.

To register a chopping current, both a Rogowsky coils protected from electromagnetic noise, and a shunt installed in the TRV circuit was used.

Microstructure and analysis

The comparative analysis of the microstructure of the sintered and faced Cu/Cr composites reveals differences in the dispersion and morphology of chromium particles. The chromium particles in the sintered composite have the form of fragmentation, which is determined by the technology of production of chrome powder. Dispersion of the Cr-particles is in the range 50 - 150 microns. There is a small fraction of fine particles of chromium dispersion up to 10 microns, which is present in the original chromium powder. The separations of fine chromium at the

boundaries of individual copper grains are observed, and they are mainly concentrated around the large particles of chromium. The dispersion of secondary precipitates chromium is about 1 micron. The secondary precipitation of chrome on the boundaries of copper grains in the sintered composite is due to some dissolution of chromium in the copper matrix during sintering of the composite. The solubility of chromium in the copper matrix in solid-phase sintering of the composite does not exceed the eutectic temperature of 1076.6 °C is about 1.5wt%. The dissolved chromium released and coagulated on the boundaries grains of the copper matrix when sintered contact material cooled slowly to room temperature.

The chromium phase in the facing composite had a dendrite morphology which is determined by the conditions of release of chromium from Cu/Cr liquid-alloy. The dispersibility of chromium phase depends on the rate of cooling of the melt and implemented during electron-beam facing is 3-5 microns. In addition to the primary chromium emissions dendrite morphology in the matrix of the surfaced composite observed secondary allocation to the spherical morphology of the copper grains themselves and their boundaries. The dispersibility of the secondary precipitates is less than 500 nm. The liquid solutions of chromium and copper are formed for electron-beam facing. The chromium phase separate with a sharp cooling of the melt in the first place as more chrome refractory phase. Part of the chromium remains in the supersaturated copper matrix. According to electron microprobe analysis the chromium in solid solution may be about 3-5 wt%. The secondary Cr grains precipitate in the copper matrix by heating to a temperature of 850 °C in the process of brazing the vacuum interrupter chamber. Thus, the electron beam facing Cu/Cr contact material has a structure with a bimodal distribution of chromium phase.

Results

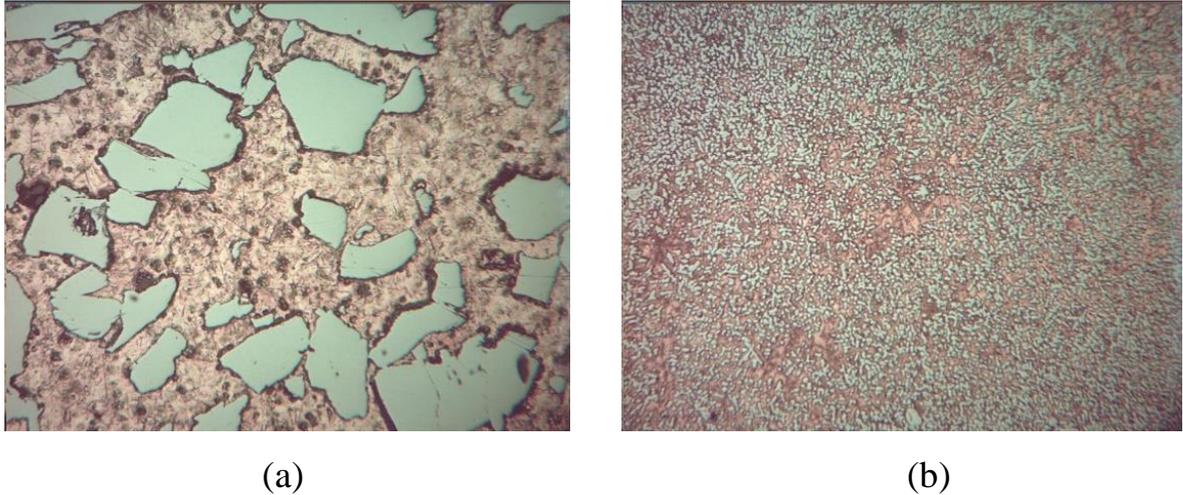


Fig.1.3 Optical image CuCr25 contact material on cross section: a – sintered contact material, b – electron beam faced contact material.

It is known that in vacuum circuit breakers a cause of chopping current is the instability of the arc at low currents, as it burns in the vapor of the metal contacts. Therefore, to determine the chopping current the experiments at low current arc amplitude (2 kA) and relatively low values of transient recovery voltage (6 kV) were chosen. This condition allows more accurately determine the chopping current than at high amplitudes of the discharge current.

Fig. 2 shows the waveforms of arc current near current zero moment for the case of solid-phase sintering (a) and electron-beam facing (b) contacts.

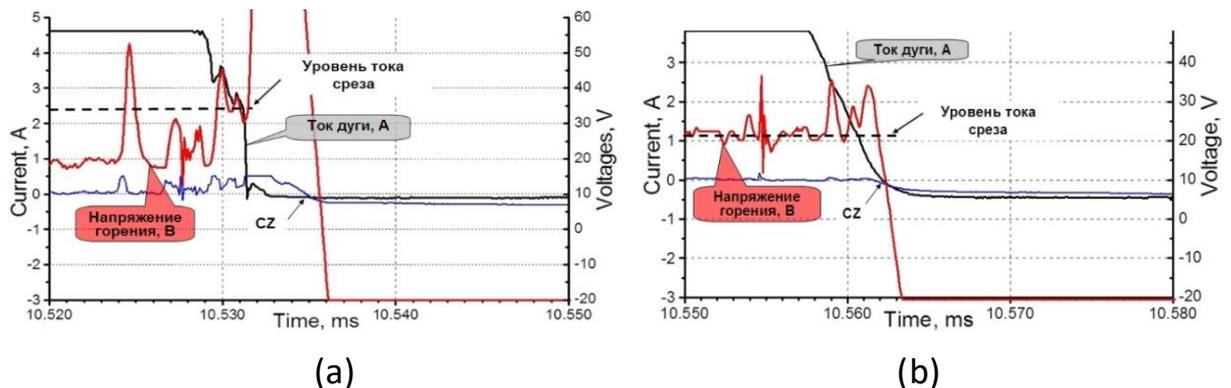


Fig. 1.4 A typical example of the chopping current for arcing in the solid-phase sintered (a) and electron-beam facing (b) electrodes. Arc current is 2 kA

Analysis of the oscillograms showed that the first attempt of arc to chopping (the appearance of the chopping current) for the solid-phase sintered contacts from

shot to shot is almost did not change and was in the range of 2.4-3.6 A for all series of experiments. There were also a several attempts to break the arc at higher currents that well seen in fig. 2(a).

In the case of electron-beam facing contacts the situation is slightly different.

A chopping current was stable from shot to shot. The average values of the chopping current were of the order of 1-1.2 A.

The death of the cathode spot is accompanied by a slight increasing voltage.

It is known that binding of spots to the separation boundary will provide a more intensive flow of thermal and other processes in these spots, and after a short time all the current focus in these spots, therefore the cathode spots are concentrated at the separation boundary of components. The electron-beam surfacing contacts have a smaller structure of chromium than solid-phase sintered one. Accordingly, the cathode spots will burn more stable at electron-beam surfacing contact. Therefore, there is a decrease in chopping current.

The breaking capacity tests were carried out by gradually increasing both the arc current and the TRV voltage.

During the experiments at low currents, the behavior of contacts was very close to each other. In both types of contacts observed anode plume as described in [39]. However, at high currents and high voltages began to appear differences. So at 12 kA arc current amplitude and 36 kV of the TRV on solid-phase sintered contacts occurred 80% of breakdowns. Under the same conditions for the electron-beam facing contacts a number of breakdowns was 60% of the total number of shots. It is evident that with a further increase of the arc current or TRV a number of breakdowns will increase. Thus, the contacts made by electron-beam facing, showed slightly better properties in breaking capacity.

Conclusion

1. The test results shows that breaking capacity electron-beam surfacing contact materials Cu-Cr is better as compared to the breaking capacity of commercial contact material made by powder metallurgy.

2. In the case of electron-beam surfacing contact materials Cu-Cr, the cathode spots burn more stable due to presence of finely dispersed phase of chromium. Resulting in the chopping current is reduced.