

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки – Электроэнергетика и электротехника
Кафедра высоковольтной электрофизики и силовоточной электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Расчёт и проектирование высоковольтного генератора для электроимпульсного бурения скважин диаметром 350 мм

УДК: 621.373.14.001.6; 622.233.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ41	Князев Станислав Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаборатории №11	Муратов Василий Михайлович			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова Ольга Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ВЭСЭ	Ратахин Николай Александрович	д.ф.-м.н. профессор		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Институт физики высоких технологий
 Направление подготовки – Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра высоковольтной электрофизики и силовоточной электроники

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ВЭСЭ

 (Подпись) (дата) Ратахин Н.А.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ41	Князев Станислав Александрович

Тема работы:

Расчёт и проектирование высоковольтного генератора для электроимпульсного бурения скважин диаметром 350 мм
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является технология расчета и проектирование генератора импульсного напряжения по схеме Аркадьева-Маркса Цель работы – расчёт и проектирование высоковольтного генератора для электроимпульсного бурения Основная теоретическая база для научной работы: 1 Смирнов С.М., Терентьев П.В. Генераторы импульсов высокого напряжения. – М.: Энергия, 1964. – 239с. 2 Авруцкий В.А., Кужекин И.П., Чернов Е.Н. Испытательные и электрофизические установки. Техника эксперимента. - М.: МЭИ, 1983.-264с. 3 Леонтьев Ю.Н. Высоковольтные испытательные и электрофизические установки. Высоковольтные измерения. - Томск. ТПУ, 1993 г.-93 с.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки, техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Обзор литературы 2. Методика часть 3. Результатная часть 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна
Социальная ответственность	Кырмакова Ольга Сергеевна
Перевод на иностранный язык	Прохорец Елена Константиновна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: вся работа написана на русском языке, раздел 3 переведен на английский язык	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1.10.2015
--	-----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаборатории №11	Муратов Василий Михайлович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ41	Князев Станислав Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ41	Князев Станислав Александрович

Институт	ИФВТ	Кафедра	ВЭСЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	При проведении научно-исследовательского проекта используется база лаборатория № 11 ИФВТ ТПУ; в исследовании задействованы два человека: руководитель проекта и студент-дипломник; стоимость ресурсов научного исследования составляет 1 389 136 рублей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Определение концепции проекта, факторов микро- и макросреды, анализ рынка продукта, экспертная оценка эффективности, SWOT-анализ
2. Разработка устава научно-технического проекта	Проект выполняется в рамках магистерской диссертации, устав не требуется.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработка календарного, формирование сметы расходов на проектирование
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Анализ финансовой эффективности, ресурсоэффективности и сравнения эффективностей
Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Бюджет проекта 2. График Ганта	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ41	Князев Станислав Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ41	Князев Станислав Александрович

Институт	Физикивысоких технологий	Кафедра	Высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Рабочей зоной является лаборатория №11 ИФВТ ТПУ. Проект относится к работе средней тяжести, помещение 2-й категории.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности; – термические опасности; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность.	Условия труда работающих характеризуются возможностью воздействия на них следующих вредных производственных факторов: – повышенный уровень шума; – производственная вибрация; – электрическое поле промышленной частоты – электромагнитное поле; – неблагоприятные условия микроклимата; – недостаточная освещенность рабочего места. К выявленным опасным факторам относятся: – электрический ток; – пожаровзрывобезопасность.
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу; – анализ воздействия объекта на гидросферу; – анализ воздействия объекта на литосферу; – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Материалы, используемые в научно-технической работе относятся к экологически безопасным.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Возможные ЧС на объекте: нарушение способности изоляционного материала и не эксплуатация системы подачи рабочего газа, вследствие чего может возникнуть пожар и взрыв. Превентивные меры по предупреждению ЧС: контроль изоляции, датчиков температуры и давления недоступность токоведущих частей, правильность подключения силовых разъемов питающих проводов; исправность системы заземления. Действия в результате возникшей ЧС и ликвидации ее последствий должны быть описаны в каждой инструкции охраны труда.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Геометрические характеристики рабочей зоны, размещение элементов установки и микроклимата соответствуют нормам. Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова Ольга Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ41	Князев Станислав Александрович		

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра высоковольтной электрофизики и силовоточной электроники

Уровень образования – Магистратура

Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	3 июня 2016 года
--	------------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
26.12.2014	Научно-исследовательская работа в семестре	75
11.06.2015	Научно-исследовательская работа в семестре	65
26.12.2015	Научно-исследовательская работа в семестре	67

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ВЭСЭ	Жгун Д.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ВЭСЭ	Ратахин Н.А.	д.ф. – м.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально–экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование 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	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно–техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.
Универсальные компетенции	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, имея способность адаптироваться в активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно–исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырёх глав и заключения. Общий объём работы – 105 страниц. Диссертация содержит 27 рисунков, 25 таблиц и список цитируемой литературы из 49 источников.

Ключевые слова: Генератор импульсного напряжения; Генератор Аркадьева-Маркса; Электроимпульсная технология; Бурение горных пород и мёрзлых грунтов; Газонаполненная конструкция разрядников; Конфигурация электродов.

Объектом исследования является технология расчета и проектирование генератора импульсного напряжения по схеме Аркадьева-Маркса.

Цель работы – расчёт и проектирование генератора импульсного напряжения для электроимпульсного бурения.

В процессе работы был рассчитан и спроектирован генератора импульсного напряжения по схеме Аркадьева-Маркса.

В результате исследования: получены параметры, спроектированного генератора импульсного напряжения.

Степень внедрения: лабораторная установка, научные исследования и разработки

Область применения: электроимпульсная технология разрушения материалов.

Экономическая эффективность/значимость работы: применение хорошо собранного генератора значительно увеличивает срок эксплуатации установки, повышает производительность электроимпульсного разрушения. Вследствие чего снижаются трудовые и экономические затраты.

В будущем планируется: оценка работы установки в процессе испытаний и модернизация изготовленной установки с целью повышение показательных характеристик.

Referat

Die Abschlußqualifikationsarbeit besteht aus der Einleitung, vier Kapitel und des Schlusses. Der allgemeine Umfang der Arbeit – 105 Seiten. Die Dissertation enthält 27 Zeichnungen, 25 Tabellen und die Liste der zitierten Literatur aus 49 Quellen.

Schlüsselwörter: Generator der Hochspannungsimpulse; Schema von Arkadjew-Marx; Elektro-Impuls-Verfahren; die Bohrung der Bergarten und Eisboden; Gasgefüllte konstruktiver Aufbau der Entlader; Elektrodengeometrie.

Ein Objekt der Forschung ist die Technologie der Berechnung und die Projektierung des Generators der Impulsanstrengung nach dem Schema Arkadjew-Marks.

Das Ziel der Arbeit – die Berechnung und die Projektierung des Generators der Impulsanstrengung für das Elektroimpulsbohren.

Im Laufe der Arbeit war des Generators der Impulsanstrengung nach dem Schema Arkadjew-Marks berechnet und entworfen.

Infolge der Forschung: es sind die Parameter, des entworfenen Generators der Impulsanstrengung bekommen.

Die Stufe der Einführung: die labormässige Anlage, die wissenschaftlichen Forschungen und die Entwicklungen.

Das Gebiet der Anwendung: die Elektro-Impuls-Verfahren der Zerstörung der Materialien.

Die Wirtschaftseffektivität/Bedeutsamkeit der Arbeit: die Anwendung des gut gesammelten Generators vergrößert die Frist der Ausnutzung der Anlage wesentlich, erhöht die Produktivität der Elektroimpulszerstörung. Infolge wessen die werktätigen und Wirtschaftsaufwände sinken.

In der Zukunft wird es geplant: die Einschätzung der Arbeit der Anlage im Laufe der Tests und die Modernisierung der hergestellten Anlage zum Ziel die Erhöhung der vorbildlichen Charakteristiken.

Содержание

Введение.....	14
1 Анализ литературы по генераторам импульсного напряжения и газонаполненным разрядникам.....	15
1.2 Лестничная конструкция генератора импульсного напряжения.....	16
1.3 Обзор прототипов генераторов Аркадьева-Маркса.....	17
2 Методическая разработка по созданию технологической установки	27
2.1 Описание исследовательской установки	27
2.2 Электротехнические элементы генератора.....	29
2.3 Система регистрации тока и напряжения	32
2.4 Литературный анализ используемых ресурсных материалов в конструировании генератора	34
3 Расчётно-проектная часть	39
3.1 Расчет основных параметров схемы ГИН.....	39
3.2 Расчет емкости нагрузки.....	40
3.3 Определение максимального значения коэффициента использования разрядной схемы и постоянных времени экспонент.....	41
3.4 Расчет коэффициента использования импульса напряжения и допустимых пределов изменения соотношения C_2/C_1	42
3.5 Расчет основных параметров разрядной схемы генератора импульсов .	43
3.6 Расчет зарядной схемы.....	45
3.7 Расчёт геометрии разрядного промежутка	46
3.8 Разработка типа и конфигурации электродов	46
3.9 Конструкция газонаполненных разрядников	47
3.10 Конструкция генератора импульсных напряжений.....	49

3.11	Опыты холостого хода и коротко замыкания.....	50
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	53
4.1	Инициализация проекта	54
4.1.1	Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ.....	54
4.1.2	Анализ и оценка научно-технического уровня проекта	57
4.1.3	SWOT-анализ	59
4.2	Планирование комплекса работ на создание проекта	61
4.2.1	Определение трудоемкости работ	63
4.3	Расчет сметы затрат на проектирование	65
4.3.1	Бюджет научного проекта	65
4.3.2	Расчет материальных затрат.....	65
4.3.3	Расчёт оплаты труда работников	66
4.3.4	Расчет отчислений от заработной платы	68
4.3.5	Расчет накладных расходов.....	68
4.3.6	Полная смета затрат на выполнение проекта.....	70
4.4	Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	71
	Заключение	73
5	Социальная ответственность	74
5.1.	Техногенная безопасность.....	75
5.1.1	Анализ вредных факторов производственной среды	75
5.2.	Анализ опасных факторов производственной среды.....	79
5.3	Региональная безопасность	81
5.4	Организационные мероприятия обеспечения безопасности	81
5.5	Особенности законодательного регулирования проектных решений	82
5.6	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	83

Заключение	84
Список используемых источников.....	85
ПРИЛОЖЕНИЕ А	90

Введение

Бурение горных пород – один из самых затратных и трудоемких технологических процессов при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. В настоящее время традиционные способы воздействия на горные породы, основанные на механическом разрушении, практически приблизились к пределу своих технических возможностей. В связи с этим ЭИ бурение является более эффективным способом разрушения горных пород, обеспечивающее на длительную перспективу конкурентоспособность. Так как ЭИ способ отвечает основным требованиям сформулированных исходя из большого опыта, недостатков и проблем, связанных с механическим способом [1].

Развитие электроимпульсного бурения скважин требует применение транспортабельного и модульного генератора импульсного напряжения. Это связано с тем, что в процессе бурения присутствует необходимость регулирования подачи мощности на забой и быстрой смены локации по окончании процесса бурения.

Из этого следует, что главным элементом в электроимпульсном бурении является генератор импульсного напряжения по схеме Аркадьева-Маркса, предназначенный для генерирования высоковольтного импульсного разряда на забой скважины, так как разряд является рабочим инструментом для разрушения материалов в данной технологии.

Объект исследования: Технология расчета и проектирование генератора импульсного напряжения по схеме Аркадьева-Маркса.

Предмет исследования: Применение генератора Аркадьева-Маркса для электроимпульсного бурения горных пород и мёрзлых грунтов.

Научная новизна: Основные результаты, полученные в диссертации, имеют приоритетный характер. Из них можно сделать вывод о перспективности использования данной конструкции генератор импульсного напряжения.

Практическая значимость: Рассчитана и спроектирована конструкция генератора Аркадьева-Маркса, которая наиболее приемлема для электроимпульсного бурения.

1 Анализ литературы по генераторам импульсного напряжения и газонаполненным разрядникам

Научно-исследовательская магистерская диссертация заключается в расчёте и проектирование высоковольтного импульсного генератора по схеме Аркадьева-Маркса.

В отечественной литературе генератор импульсов высокого напряжения часто называют, как генератор Аркадьева-Маркса, Маркса-Аркадьева или Аркадьева-Баклина-Маркса, сокращённо - ГИН БАМ. Такое название связано с историей происхождения самого генератора. В 1914 году В. К. Аркадьев совместно с Н. В. Баклиным сконструировали генератор именуемый, как «генератор молний», который являлся первым генератором импульсного напряжения в России, работавшем на принципе последовательного соединения конденсаторов с целью получения умножения напряжения, а в 1916 г. запатентовали его [2]. В европейских источниках пишут, что генератор импульсов высокого напряжения изобрёл немецкий инженер Эрвин Маркс в 1924 году и был построен в 1926 году [3]. В генераторе Аркадьева-Баклина применяется контактно-механический способ соединения конденсаторов ступеней, фактически для замыкания лишь последней ступени, остальные замыкались на самопробое. Это позволяло после длительной зарядки задавать мгновение разряда точно. В генераторе Маркса применён бесконтактный (путём переноса зарядов в газе или вакууме) способ соединения. Что позволяет не использовать механические подвижные элементы, но снижает качество мгновенного срабатывания. Современные конструкции ГИН БАМ в СССР и России используют управляемые высоковольтные разрядники - тиратроны, игнитроны, тригатроны. Что позволяет объединить достоинства ГИН Аркадьева-Баклина и Маркса в единой электротехнической конструкции.

1.2 Лестничная конструкция генератора импульсного напряжения

В зависимости от способа размещения конденсаторов и вида изолирующей конструкции многоступенчатые ГИН подразделяются на лестничные, этажерочные, башенные и колонковые. Опорная конструкция лестничного ГИН имеет вид лестницы, на ступенях которой помещаются конденсаторы, а этажерочная выполняется в виде этажерки с конденсаторами, установленными на горизонтальных полках. В башенном конденсаторы размещаются внутри изоляционной конструкции, заполненной маслом и имеющей форму башни. В колонковом применяются конденсаторы в изолирующем корпусе, которые располагаются один над другим в колонках.

Из перечисленных выше классификаций многоступенчатых генераторов в научно-техническом проекте внимание уделено конструкции лестничного типа.

Лестничная конструкция ГИН имеет деревянный или дерево-металлический каркас с фарфоро-воздушной изоляцией между ступенями и землей. Конденсаторы располагаются на ступенях обычно в два ряда, иногда параллельными группами в несколько штук. Лестница может иметь один, два или три марша. Генераторы работающие на открытом воздухе, обычно имеют один марш, а генераторы в закрытых помещениях два или три марша. Достоинствами конструкции являются: большая механическая прочность, доступность всех элементов генератора для контроля и ремонта, возможность применения конденсаторов любого типа, устойчивая работа искровых разрядников даже при большом числе ступеней. Такой тип широко применялся в довоенные годы, но в настоящее время в установках для закрытых помещений он применяется редко из-за плохого использования площади и строительного объема (k_1 – до 0,08 кДж /м³; k_3 – до 1,8 %). Разрядная цепь ГИН имеет большую протяженность и потому повышенную индуктивность ($L_k = 100 \div 300$ мкГн) [4].

Уникальный одномаршевый лестничный ГИН, предназначенный для работы на открытом воздухе, был сооружен в Харьковском электротехническом институте в 1940 г. Генератор имел 82 конденсатора в металлическом кожухе

($E=100$ кВ, $C_0 = 1,03$ мкф), которые устанавливались на ступенях деревянной лестницы попарно, и электрические параметры: $C_k=13\,000$ пф, $U_{\max} = 8\,200$ кВ, $W_{\max}=420$ кДж.

На Рисунке 1 показан трехмаршевый лестничный ГИН на 1 800 кВ, предназначенный для внутренней установки. Особенностью этого ГИН является шарнирное соединение маршей.

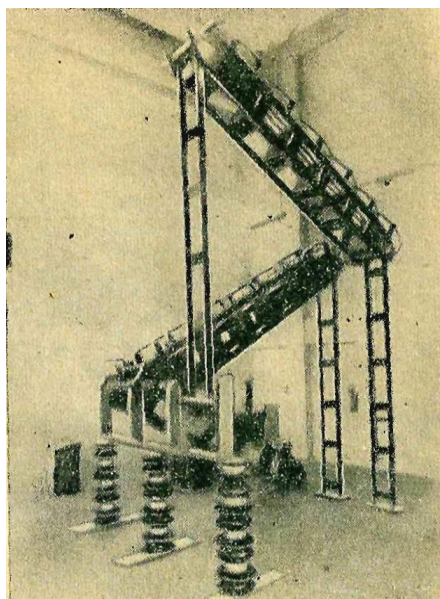


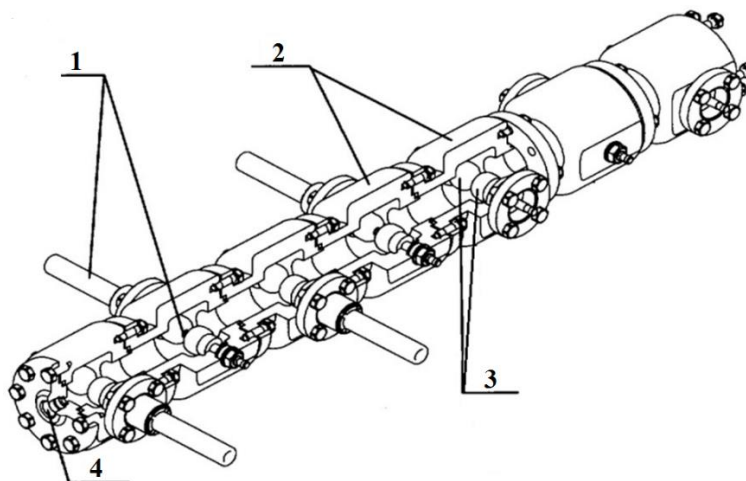
Рисунок 1 – Трехмаршевый лестничный ГИН на 1 800 кВ

1.3 Обзор прототипов генераторов Аркадьева-Маркса

В настоящее время существует большое количество прототипов генераторов Аркадьева-Маркса. Некоторые из них были проанализированы, вследствие чего был составлен литературный обзор с иллюстрациями технологических конструкций, который представлен дальше в тексте.

Авторами [5] была предложена следующая система коммутации генератора импульсного напряжения. Система коммутации представляет собой пакет с двенадцатью разрядниками, выполненными путем герметичной состыковки всех корпусов разрядников с общей рабочей средой и образованием сплошного осевого канала между электродами всех соседних разрядников в пакете.

В качестве коммутаторов генератора используются газонаполненные разрядники тригatronного типа, включенные таким образом, что основной электрод разрядников находится под высоким потенциалом во время заряда конденсаторов, а катод - под низким потенциалом. Разрядники первых четырех каскадов имеют управляющий (поджигающий) электрод, а остальные - без управления. Рабочее избыточное давление в разрядниках около 4 атм, а состав смеси газа - 20% SF_6 и 80% N_2 . После окончания зарядки по команде с пульта управления на управляющие электроды первых четырех разрядников от импульсного генератора приходит поджигающий импульс положительной полярности амплитудой.



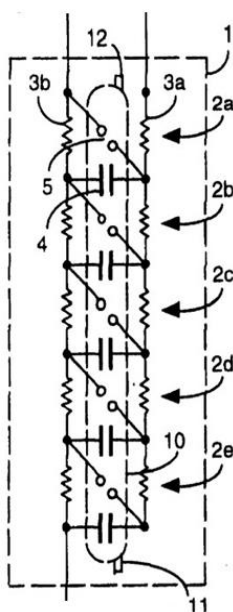
1 – управляющие электроды; 2 – корпус разрядника; 3 – основные электроды разрядника; 4 – подвод газа в осевой канал пакета разрядников.

Рисунок 2 – Газонаполненная конструкция разрядников

Приведённая выше газонаполненная конструкция разрядников является технически усложнённой. Это связано с тем, что конструкция состоит из нескольких отдельных секций разрядников с болтовыми соединениями. Так же конструкция, обладает трудностью в ремонте и текущем наблюдения за состоянием элементов, потребность в синхронизации управляющих коммутаторов. Применение смеси газа приводит к удорожанию и вероятности образования на поверхности электродов серы.

Следующий образ системы коммутации представлен в информационном источнике [6].

Система коммутации представляет собой пять переключателей в виде искровых промежутков запаянные в разрядную трубку с газопроводящей арматурой через которую наполняют рабочий объём газообразным водородом, до сжатого состояния 15 бар. Арматура изготавливается из нейлона, что гарантирует минимальную вероятность возникновения искрения с внешней стороны оболочки.



1 – генератор Маркса; 2a, 2b, 2c, 2d, 2e – каскады генератора; 3a, 3b – зарядные резисторы; 10 – цельная разрядная трубка; 11, 12 – газопроводная арматура.

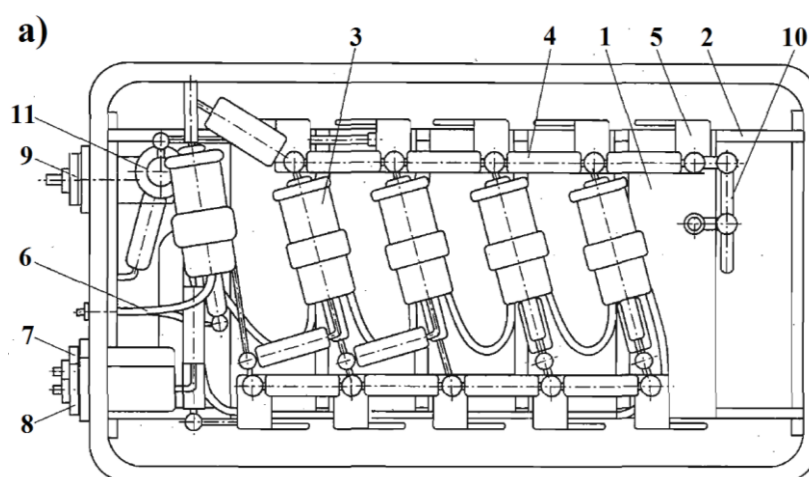
Рисунок 3 – Схема генератора сигналов высокого напряжения

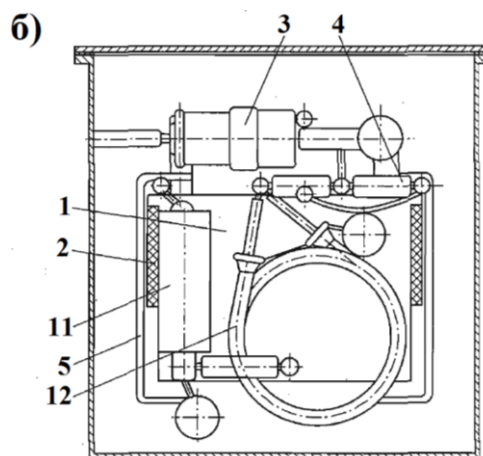
Недостатками данной системы коммутации являются сложность при эксплуатации, связанная с окружающей средой разрядников газообразным водородом, сжатым до высокого давления, взрывоопасный вид газа. Разброс пробивных напряжений из-за отсутствия управляющего импульса в переключателях.

Известен следующий вид разрядников, который изложен в научном патенте под названием «Генератор Аркадьева-Маркса» [7].

Генератор импульсного напряжения относится к платформенному типу конструкции, по прототипу представляет собой корпус с диэлектрической средой, в котором расположены импульсные конденсаторы, коммутаторы и резисторы, соединенные по каскадной схеме умножения напряжения Аркадьева-Маркса. Заполняющей корпус генератора изоляционной средой является трансформаторное масло, а разрядники наполнены смесью элегаза и азота под давлением до 1 МПа. В компоновке данного пятикаскадного ГИН конденсаторы компактно упакованы в один пакет, а параллельно им закреплены пять разрядников-тригатронов. В зарядно-разрядных и пусковых цепях использованы резисторы в полиэтиленовых корпусах, заполненных водным раствором медного купороса.

Коммутаторы, используемые в данном генераторе представляют собой пять тригатронов в каждой ступени. В качестве заполняющей средой корпус тригатрона выступает смесью газа - 40% SF_6 и 60% N_2 находящиеся под давлением до 1 МПа. Конструкция тригатронов выдерживает избыточное давление 4 МПа.





а – вид сверху без крышки бака, б – поперечный разрез

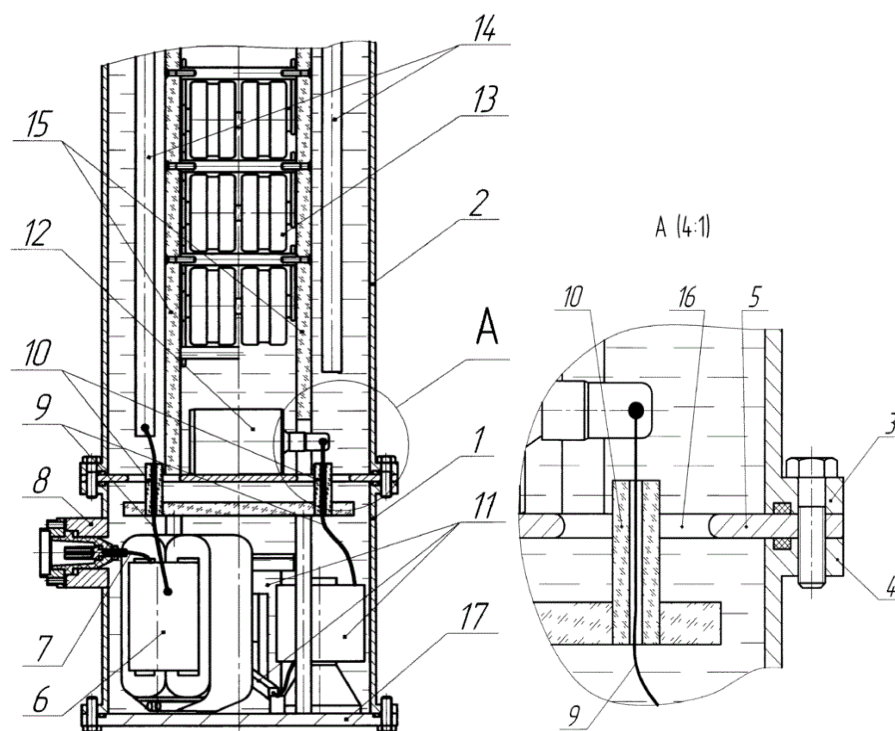
1 – конденсаторы; 2 – опорные пластины, 3 – триггеры; 4 – жидкостные резисторы; 5 – экраны; 6 – газовый шланг; 7, 8, 9 – высоковольтные вводы; 10 – проводник; 11 – резистор; 12 – пусковой конденсатор.

Рисунок 5 – Размещение деталей высоковольтного контура ГИН в баке

Недостатками коммутаторов являются ограничения по выходному напряжению в следствии малого значения рабочего давления, техническая сложность конструкции, трудность ремонта и текущего наблюдения за состоянием элементов, дороговизна конструкции.

Авторы всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики представляют изобретения основанное на генераторе импульсного напряжения [8].

Изобретение представляет собой двух секционный металлический, герметичный корпус, заполненный диэлектрической средой. В одной секции расположен импульсный зарядный трансформатор и система запуска, а в другой секции находится каскады генератора, закреплённые на металлической пластине при помощи изоляторных стоек. Генератор Аркадьева-Маркса, содержащий десять каскадов с конденсаторами, разрядником в каждом каскаде и зарядные катушки индуктивности. Коммутатор первого каскада выполнен управляемым и снабжен системой запуска. В качестве диэлектрической среды заполняющей корпус генератора выступает трансформаторное масло, а для заполнения окружающей среды разрядников, выступает газообразный диэлектрик.



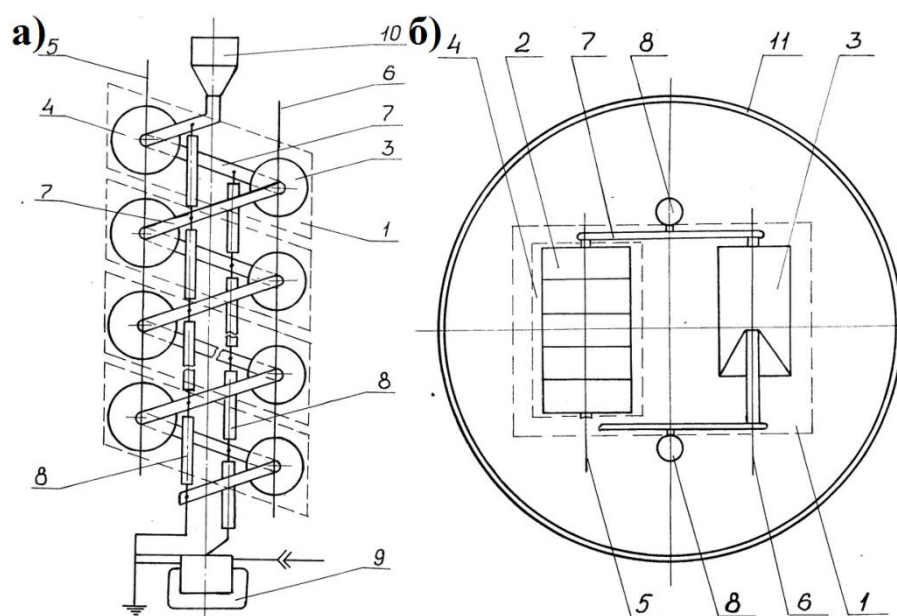
1 – секция зарядного трансформатора и системы запуска; 2 – секция каскадного генератора; 3, 4 – смежные фланцы секций; 5 – металлическая пластина; 6 – импульсный зарядный трансформатор; 7 – вывод первичной обмотки трансформатора; 8 – высоковольтный разъем; 9 – высоковольтные выводы от трансформатора и системы запуска; 10 – диэлектрические держатели; 11 – элементы системы запуска разрядника первого каскада; 12 – управляемый разрядник первого каскада; 13 – конденсаторы каскадов генератора; 14 – зарядные катушки индуктивности; 15 – изоляторные опорные стойки; 16 – отверстия в пластине 5; 17 – основание секции трансформатора.

Рисунок 6 – Поперечный разрез генератора и фрагмент А разреза со стороны конденсаторов

Недостатками прототипа являются технически сложная конструкция, трудность ремонта и текущего наблюдения за состоянием элементов, большой вес генератора в сборе, потребность в синхронизации управляемого коммутатора, дороговизна конструкции.

Авторы всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики предлагают следующей следующее изобретение, используемых в генераторе импульсного напряжения [9].

Изобретение представляет собой диаметральный герметичный корпус, заполненный диэлектрической средой. В данном корпусе располагаются такие элементы, как генератор импульсного напряжения, импульсный трансформатор, нагрузка в виде рентгеновской трубки и компенсирующее устройство для стабилизации объема масла. Генератор импульсов напряжения, собранный по схеме Аркадьева-Маркса, содержит десять каскадов с конденсаторами, разрядником в каждом каскаде и зарядные катушки индуктивности. Все пакеты конденсаторов размещены в одной плоскости, а все коммутаторы в другой плоскости, эти плоскости параллельны и предельно сближены друг к другу. Расстояния от оси каждого пакета конденсаторов до осей прилегающих разрядников, электрически соединенных, одинаковы. В качестве диэлектрической среды заполняющей корпус генератора выступает трансформаторное масло. В данном генераторе используются высоковольтные разрядники типа Р-49, геометрическую форму имею в виде цилиндра, в этих разрядниках наполняющей окружающей средой, выступает газообразный азот под давлением до 4 МПа.



а – схема генератора импульсов напряжения, б – один каскад генератора импульсов напряжения

1 – каскад генератора; 2 – конденсатор; 3 – разрядник; 4 – пакет собранных конденсаторов; 5 – плоскость всех осей пакетов конденсаторов; 6 – плоскость

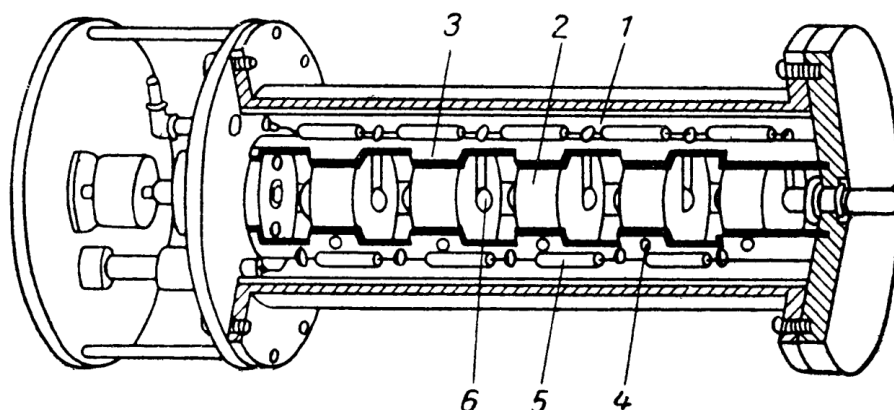
всех осей разрядников; 7 – токопроводящая шина; 8 – зарядные катушки индуктивности; 9 – импульсный трансформатор; 10 – нагрузка; 11 – корпус.

Рисунок 7 – Генератор Аркадьева-Маркса

Недостатками данного генератора являются технически сложная конструкция, трудность ремонта и текущего наблюдения за состоянием элементов, разрядки Р-49 применяемые в приведённом генераторе не гарантируют качественное последовательное срабатывание ступеней генератора из-за значительного разброса пробивных напряжений искровых промежутков. Малый ресурс работы разрядников вследствие быстрого загрязнения изоляторов [10], дороговизна конструкции.

Примером следующего прототипа может служить генератор импульсов, указанный в литературном источнике [11].

Конструкция корпуса, в котором находится генератор импульсного напряжения, имеет форму цилиндра на торцах, которого расположены фланцы для соединения с основанием и крышкой конструкции. Генератор содержит пять каскадов, цилиндр из органического стекла, в котором закреплены высоковольтные конденсаторы при помощи нейлоновых винтов, зарядные сопротивления на каждый каскад, разрядники, изготовленные из полированных бронзовых полусфер закреплённые на конденсаторах, на латунных стержнях с резьбой для регулировки длины зазора, световод, образованный стенками камеры с отражающим покрытием, вольфрамовый поджигающий электрод, находящийся в основании отверстия во фланце камеры. Основные электротехнические элементы, соединенные по схеме умножения напряжения Аркадьева-Маркса. Генератор является закрытого, газонаполненного исполнения. В качестве диэлектрической среды заполняющей корпус генератора выступает газообразный азот, находящийся под давлением 3 атм.



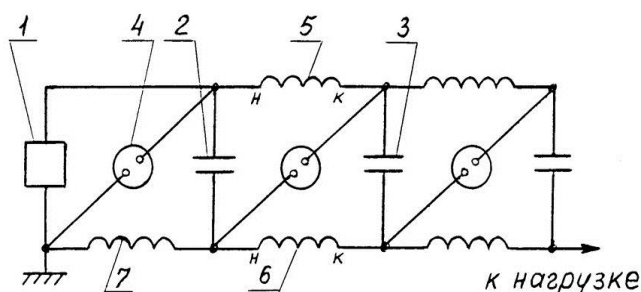
1 – отражающее покрытие; 2 – высоковольтные конденсаторы; 3 – цилиндр из органического стекла; 4 – нейлоновые винты; 5 – зарядные резисторы, 6 – высоковольтный электрод.

Рисунок 8 – Конструкция малогабаритного генератора

Недостатками представленного ГИН являются технически сложная конструкция, трудность ремонта и текущего наблюдения за состоянием элементов, большой вес генератора в сборе, потери на резистивных элементах, дороговизна конструкции.

Следующее изобретение является прототипом генератора Аркадьева-Маркса, которое представлено в научном патенте [12].

Сущность изобретения: генератор импульсов напряжения содержит источник питания и подключенный к нему ряд конденсаторов, соединенных последовательно через разрядники и параллельно через катушки индуктивности. Каждые две катушки индуктивности, соединяющие соседние конденсаторы, индуктивно связаны между собой.



1 – источник питания; 2,3 – конденсаторы ("Начало" и "Конец"); 4 – разрядники; 4,6 – зарядные катушки индуктивности; 7 – защитная катушка индуктивности.

Рисунок 9 – Электрическая схема генератора

В данной конструкции ГИН присутствуют следующие недостатки: ограничения по выходному напряжению, по степени стабильности и надежности из-за того, что отсутствует управляющий импульс в разрядниках, что увеличивает разброс по времени срабатывания генератора.

2 Методическая разработка по созданию технологической установки

2.1 Описание исследовательской установки

Генератор Аркадьева-Маркса – представляет собой систему параллельно соединенных высоковольтных конденсаторов, которые заряжаются выпрямленным электрическим током через резистивные или индуктивные элементы, а при разрядке соединяются последовательно с помощью различных коммутирующих устройств.

Проектируемый в диссертации генератор относится к области высоковольтной импульсной техники, а конкретнее к многоступенчатым генераторам, которые предназначены для генерирования импульсов высокого напряжения. Данный генератор изготавливается для электроимпульсной технологии разрушения материалов.



1 – газонаполненная конструкция разрядников; 2 – импульсные конденсаторы; 3 – зарядные катушки индуктивности; 4 – каркас; 5 – опорные изоляторы; 6 – шунт; 7 – железная рамка.

Рисунок 10 – Фотография генератора импульсного напряжения

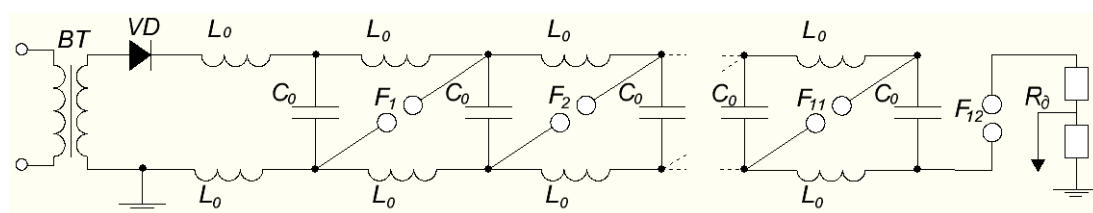
Генератор обладает следующими техническими параметрами, которые указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Параметр генератора импульсного напряжения

Наименование параметра	Значение
Амплитудное значение выходного напряжение, $U_{\text{вых}}$, кВ	600
Ёмкость генератора в ударе, $C_{\text{уд}}$, мкФ	29,17
Максимальная запасённая энергия, W_{max} , кДж	5,25

Генератор по типу опорной конструкции относится к одномаршевому, лестничному. Данная конструкция имеет деревянный каркас, разделённый на двенадцать равных ступеней, который статически взаимодействует с четырьмя опорными изоляторами, находящимися по контуру каркаса, а изоляторы в свою очередь закреплены на железной рамке, вследствие этого конструкция обладает высокой прочностью и устойчивостью к деформации. По мимо того изоляторы обеспечивают необходимую изоляцию между ступенями и землей. Каждая ступень генератора содержит один импульсный конденсатор, высоковольтный разрядник и пару зарядных катушек индуктивностей. Эти электротехнические элементы, соединенные по схеме умножения напряжения Аркадьева-Маркса. Генератор является открытого исполнения, окружающей изоляционной средой которого выступает воздух. Система коммутации представляет собой разрядники с не стандартной конфигурацией электродов находящиеся в диэлектрической трубе заполненной изоляционным газом под давлением, превышающее атмосферное. Газонаполненная конструкция разрядников размещена над конденсаторами параллельно, вдоль центральной оси несущей конструкции генератора.

Электрическая схема соединения элементов генератора представлена на рисунке 11.



BT – высоковольтный трансформатор; VD – диод; L_0 – зарядные катушки индуктивности; $F_1 \div F_{12}$ – искровые промежутки; C_0 – емкость конденсатора; R_0 – сопротивление делителя.

Рисунок 11 – Принципиальная электрическая схема генератора

Генератора работает следующим образом. Конденсаторы, соединённые в параллельную схему, заряжаются от источника выпрямленного напряжения через зарядные катушки индуктивности в течение некоторого времени. Причем зарядные катушки при выпрямленном напряжении обеспечивают практически быстрый одновременный заряд до определенного напряжения всех конденсаторов. Расстояние между разрядными промежутками устанавливаются таким образом, чтобы напряжение, до которого зарядится конденсатор в первом каскаде, было достаточно для пробоя только первого искрового промежутка, в каждой последующих каскадах искровой промежутков, увеличивается на 20% от предыдущего. В этом случае, как только потенциал достигнет заданного значения, происходит пробой первого промежутка, вследствие чего из-за перенапряжения на каждом электродном промежутке, происходит коммутация последующих разрядников, все конденсаторы, заряженные до назначенного напряжения, соединяются в последовательную схему, минуя зарядные катушки, происходит умножения напряжения, до которого были заряжены конденсаторы на число ступеней генератора. При этом суммарная емкость становится меньше емкости одной ступени ровно во столько раз, сколько насчитывается ступеней генератора [13].

2.2 Электротехнические элементы генератора

В качестве накопительных элементов, находящихся в ступенях генератора, выступают импульсные конденсаторы типа ИК-100-0,35. Данные конденсаторы могут эксплуатироваться в умеренном климате в интервале температур от плюс 1 до плюс 35 °С.

Таблица 2 –Технические характеристики импульсного конденсатора [14]

Наименование характеристики	Значение
Напряжение, U, кВ	100
Емкость, С, мкФ	0,35
Индуктивность, L, нГн	150
Ток разряда, I, кА	50

На рисунке 12 представлен вид выбранного конденсатора.



Рисунок 12 – Импульсный конденсатор

Конденсаторы эксплуатируются на половину напряжения от рабочего для увеличения срока службы.

Для более быстрого времени зарядки конденсаторов и для удержания потенциала на конденсаторе в схему генератора устанавливаются зарядные катушки индуктивности. Катушка представляет собой корпус цилиндрической формы с круглым сечением, на которую намотан медный провод. Материалом корпуса является капролон. Индуктивность зарядной катушки составляет 11 мГн.



Рисунок 13 – Зарядные катушки индуктивности

В качестве зарядного источника используется высоковольтное выпрямительное устройство типа ВТМ-20/50. С рабочей частотой 50 Гц и естественным охлаждением масла. Может эксплуатироваться в интервале температур от минус 45 до плюс 40 °С.

Таблица 3 –Характеристики высоковольтного выпрямительного устройства [15]

Сторона питающей сети		
Напряжение, В	Потребляемая мощность, кВ·А	Ток, А
380	24,4	37
Сторона выпрямленного напряжения		
Мощность выпрямителя, кВт	Выпрямленное напряжение (при нормальной нагрузке), В	Выпрямленный ток, А
20	50000	0,4

На рисунке 14 представлен вид высоковольтного выпрямительного устройства.

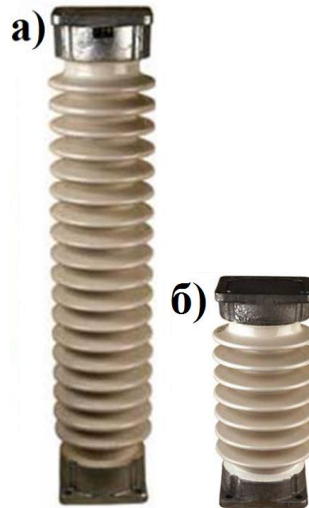


Рисунок 14 – Зарядное устройство

Достоинством зарядного устройства являются: наиболее полное использование трансформатора, малые пульсации выходного напряжения, низкие обратные напряжения для клапанов.

В опорной конструкции генератора используются опорные стержневые изоляторы. Со стороны высоковольтного вывода генератора установлены изоляторы типа ИОС-110-600 УХЛ1. С другой стороны, установлены изоляторы типа ИОС-35-1000 УХЛ1 [16].

Вид данных изоляторов представлен на рисунке 15.



а) – опорный изолятор ИОС-110-600, б) – опорные изолятор ИОС-35-1000.

Рисунок 15 – Опорные стержневые изоляторы

2.3 Система регистрации тока и напряжения

Одним из способов измерения высокого напряжения является использование делителей напряжения. Делитель представляет собой диэлектрический, цилиндрический корпус с петлевой обмоткой. Петлевая обмотка, выполняется одним проводом, намотанным в прямом и обратном направлениях на цилиндр с определенным шагом. Эта обмотка имеет несколько большую индуктивность, но зато опасность пробоя незначительна.

К делителям предъявляется основное жесткое требование: напряжение на низковольтном плече делителя должно по форме повторять измеряемое напряжение. Это значит, что коэффициент деления не должен зависеть от частоты и величины измеряемого напряжения.

В нашем случае высоковольтное плечо делителя напряжения имеет сопротивление 13 кОм, а низковольтное плечо имеет сопротивление 13 Ом. Коэффициент деления $k_d = 10000$.

Применяемый делитель напряжения представлен на рисунке 6.



Рисунок 16 – Делитель напряжения

Для измерения импульсных токов широко используются омические шунты. Использование шунтов основано на измерении падения напряжения на встроенном в цепь резисторе с известным сопротивлением. Как правило, путь прохождения измеряемого тока и измерительная схема связаны не только омически, но и через магнитное поле. При этом падение напряжения на шунте уже не пропорционально измеряемому току. Однако разработаны ряд конструкций, позволяющие минимизировать паразитные параметры шунта.

Токовый шунт имеет коаксиальную конструкцию. Сопротивление шунта составляет 0,010 Ом.

Применяемый токовый шунт представлен на рисунке 7.



Рисунок 17 – Токовый шунт

2.4 Литературный анализ используемых ресурсных материалов в конструировании генератора

Основываясь на анализе литературных источников, в данном разделе была представлена характеристика и значимость применяемых материальных ресурсов на реализацию генератора.

Материалом несущей конструкции в каждой секции, которой расположены накопительные элементы генератора является дельта-древесина.

Дельта-древесина имеет в два раза большую, чем обычная древесина, плотность, при этом значительно превосходит её по прочности. Этот материал практически не горюч, обладает абсолютной стойкостью к поражению грибом и имеет длительный срок службы без потери качеств. Данный материал имеет механическую прочность по растяжению, которая составляет 27 кг/мм^2 , тогда как у сосны этот параметр составлял 11 кг/мм^2 , у алюминиевого сплава 43 кг/мм^2 [17].

Для качественной эксплуатации, в реализации газонаполненных разрядников применяются определённые материалы.

Одним из главных применяемых в сборке элементов является диэлектрическая труба. Данный компонент представляет собой толстостенную трубу цилиндрической формы с круглым сечением. Перпендикулярно центральной оси трубы с обеих сторон на равном расстоянии друг от друга в горизонтальном положении находятся оси отверстий определённого диаметра. Срок эксплуатации данного ресурсного материала, установлен изготовителем и составляет 50 лет.

Диэлектрическая труба, обладает следующими параметрами, которые приведены в таблицы 4.

Таблица 4 – Параметры диэлектрической трубы [18]

Наименование параметра	Значение
Наружный диаметр, D, мм	160

Продолжение таблицы 4

Наименование параметра	Значение
Внутренний диаметр, d, мм	107
Максимальная рабочая температура, t, °C	до 80
Максимально рабочее давление, P, атм.	20
Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м×К)	0,238

Материалом, из которого изготовлена труба, является полипропилен.

Полипропилен обладает высокой стойкостью к истиранию, к химическим сложным веществам, к щелочам, растворам солей и другим неорганическим агрессивным средам. А также обладает хорошими электроизоляционными способностями.

Основные параметры полипропилена указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры полипропилена [19,20]

Наименование параметра	Значение
Влагопоглощение, %	0,01 ÷ 0,03
Интервал рабочих температур, t, °C	- 20 ÷ + 90
Электрическая прочность, E _{пр} , МВ/м	30 ÷ 35

Полипропиленовая труба выполняет функцию несущей конструкции, является оболочкой искровых промежутков, рабочий объём которой наполняется изоляционным газом.

Следующим необходимым элементом газонаполненной конструкции выступают диэлектрический уплотнитель. Данный элемент представляет собой деталь особой формы круглого сечения с внутренним сквозным отверстием.

Материалом, из которого изготовлен уплотнитель, является фторопласт.

Фторопласт обладает наибольшей химической стойкостью. Не способен растворяться ни в каком растворителе, не взаимодействует с кислотами и щелочами, сильными окислителями и другими агрессивными веществами.

Характеризуется исключительно значительными электроизоляционными свойствами.

Основные параметры фторопласта представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры фторопласта [19,20]

Наименование параметра	Значение
Влагопоглощение, %	0,00
Интервал рабочих температур, t, °C	- 269 ÷ + 260
Электрическая прочность, E _{пр} , МВ/м	25 ÷ 27
Коэффициент теплопроводности, λ, Вт/(м×К)	0,25

Фторопластовый уплотнитель необходим для процесса герметизации и статической установки держателей с рабочим материалом в полипропиленовой трубе.

Коммутаторы газонаполненной конструкции состоят из рабочих деталей и держателей. Рабочий элемент представляет собой деталь цилиндрической формы с круглым сечением, определённого диаметра, а держатели представляет собой специализированную деталь особой формы круглого сечения.

Материалом рабочей детали на электродах является вольфрам.

Вольфрам является тугоплавким металлом, который характеризуются высокой прочностью межатомной связи и, как следствие, высокой температурой плавления, повышенной механической прочностью и значительным электрическим сопротивлением. Вольфрам устойчив в различных газовых средах, кислотах и некоторых расплавленных металлах. С азотом вольфрам реагирует выше температуры 1500 °C.

Физические характеристики вольфрама представлены в таблице 4.

Таблица 7 – Физические свойства вольфрама [21]

Физические характеристики	Значение
Температура плавления, t, °C	3400
Удельное электрическое сопротивление, ρ, мкОм·м	0,055

Продолжение таблицы 7

Физические характеристики	Значение
Работа выхода электронов, $A_{\text{вых}}$, эВ	4,54
Предел прочности, $\sigma_{\text{пр}}$, кгс/мм ²	110÷150

Материалом держателя в электродах является нержавеющей сталь, которая характеризуется коррозионной стойкостью за счёт содержания в своём составе хрома и никеля.

Физические характеристики нержавеющей стали представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Физические характеристики нержавеющей стали[22]

Физические характеристики	Значение
Температура плавления, t , °C	1420
Удельное электрическое сопротивление, ρ , мкОм·м	0,73
Предел прочности, $\sigma_{\text{пр}}$, МПа	550÷650

Высоковольтные разрядники необходимы для коммутации электрической энергии путём пробоя изоляционной среды искровых промежутков.

Диэлектрической средой, которая заполняет весь внутренний объём полипропиленовой трубы, служит азот.

Азот является инертным газом, обладает очень низкой температурой сжижения, что позволяет его использовать при повышенных давлениях, в нём при разрядах не возникает никаких не желательных химических реакций, которые приводили бы к пагубным воздействиям, имеет низкую стоимость, что делает его применение экономически оправданным.

Физико-технические характеристики азота представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Физико-технические характеристики азота [23,24]

Физические характеристики	Значение
Электрическая прочность по отношению к воздуху	1,0
Температура кипения, t , °C (при $P_0 = 760$ мм.рт.ст.)	-195,8
Содержание масла и влаги, %	—

Азот является рабочим газом в газонаполненной конструкции, обеспечивает необходимую электрическую прочность разрядных промежутков.

3 Расчётно-проектная часть

3.1 Расчет основных параметров схемы ГИН

В данном разделе необходимо рассчитать основные параметры генератора импульсных напряжений, собранного по схеме Аркадьева-Маркса. Генератор используется для генерирования высоковольтного импульсного разряда, который является рабочим инструментом в электроимпульсном способе разрушения горных пород и руд.

Расчёт параметров схемы замещения ГИН, отображающий режим разряда, целесообразно проводить в общем случае. Для этого воспользуемся схемой представленной на рисунке 3, в которой C_1 – емкость генератора; R_1 – суммарное активное сопротивление цепи ГИН; C_2 – сумма емкости объекта, паразитной емкости ГИН, L_1 – индуктивности элементов ГИН и петли подсоединения объекта к ГИН.

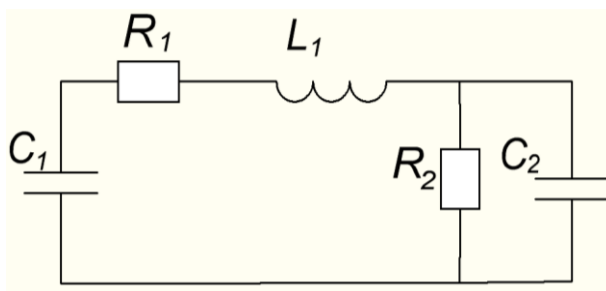


Рисунок 18 – Схема замещения разрядной цепи

Произведем обратный расчет для того, чтобы найти количество ступеней генератора и емкость конденсаторов для зарядки. В нашем случае, в качестве нагрузки выступает буровая коронка, которая будет размещаться в забое скважины в окружающей жидкой среде – деионизированная вода. Буровой наконечник представляет собой систему высоковольтных и низковольтных электродов башмачного типа, с примерно одинаковой величиной промежутков между разнополярными электродами.

3.2 Расчет емкости нагрузки

Расчет емкости нагрузки можно выполнить по следующей формуле:

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S_{\text{общ}}}{d} \cdot n, \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{8,854 \times 10^{-12} \cdot 81 \cdot 1,462 \times 10^{-3}}{38 \times 10^{-3}} \cdot 24 = 6,62 \times 10^{-10} \text{ Ф}$$

где ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м;

ε – диэлектрической проницаемостью воды;

d – расстояние между электродами, м;

n – число разрядных промежутков между разнополярными электродами;

$S_{\text{общ}}$ – сумма площадей электрода, м²:

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{элект}} + S_{\text{осн.башм}}, \quad (2)$$

$$S_{\text{общ}} = 3,142 \times 10^{-4} + 1,148 \times 10^{-3} = 1,462 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

где $S_{\text{элект}}$ – площадь поперечного сечения электрода, м²:

$$S_{\text{элект}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (3)$$

$$S_{\text{элект}} = \frac{3,14 \cdot (20 \times 10^{-3})^2}{4} = 3,142 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

где D – диаметр электрода, м;

$S_{\text{осн.башм}}$ – площадь основания башмака электрода, м²:

$$S_{\text{осн.башм}} = a \cdot b, \quad (4)$$

$$S_{\text{осн.башм}} = 14 \times 10^{-3} \cdot 82 \times 10^{-3} = 1,148 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

где a – ширина основания башмака электрода, м;

b – длина основания башмака электрода, м.

Анализируя проделанные расчёты можно, увидеть, что емкость нагрузки составляет $6,62 \times 10^{-10}$ Ф.

3.3 Определение максимального значения коэффициента использования разрядной схемы и постоянных времени экспонент

Предельное значения коэффициента использования разрядной схемы находится в зависимости только от соотношения C_2 и C_1 . Коэффициент схемы можно выразить следующим образом [25]:

$$\eta_{\text{сх}} = \frac{1}{2 \cdot \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)} \pm \sqrt{\left[\frac{1}{\left(2 + \frac{C_2}{C_1}\right)}\right]^2 - \frac{T_2}{T_1 \cdot \frac{C_2}{C_1}}} = \frac{1}{2 \cdot (1+x)} \pm \sqrt{\left[\frac{1}{(2+x)}\right]^2 - \frac{T_2}{T_1 \cdot x}} \quad (5)$$

где x – соотношение C_2 / C_1 ;

$T_1 T_2$ – постоянные времени.

Постоянные времени T_1 и T_2 , определяются по формулам:

$$T_1 = \tau_{\text{и}} / 0,69 = 5 \times 10^{-6} / 0,69 = 7,246 \times 10^{-5} \text{ с} \quad (6)$$

$$T_2 = \tau_{\text{ф}} / 3,25 = 0,15 \times 10^{-6} / 3,25 = 4,615 \times 10^{-8} \text{ с} \quad (7)$$

где $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса;

$\tau_{\text{ф}}$ – длительность фронта импульса.

Расчетный коэффициент разрядной схемы генератора должен быть не менее 0,9 от максимально возможного для заданных параметров импульса.

Минимальное и максимальное значение отношения C_2/C_1 задаем в интервале от 0,002 до 0,28 с шагом изменения равным 0,0001.



Рисунок 19 – Величина коэффициента схемы в диапазоне 0,002–0,28

В большем ряде случаев при расчете генератора исключается возможность использовать максимальное значение коэффициента использования схемы генератора. Это связано с тем, что достаточно трудно определить паразитную емкость генератора, подобрать необходимую емкость конденсаторов из широкого выбора выпускаемых промышленностью. Вследствие этого, задается минимально допустимое отклонение коэффициента использования схемы от максимального значения и назначается допустимый интервал изменения отношения емкостей генератора и нагрузки.

$$\eta_{\text{сх}}^{\min} = 0,9 \cdot \eta_{\text{сх}}^{\max} = 0,9 \cdot 0,948 = 0,853 \quad (8)$$

Отношение емкостей C_2/C_1 меняем, так чтобы $\eta_{\text{сх}}$ не был меньше минимального.

Минимальное и максимальное отношение емкостей $(C_2/C_1)^{\min} = 0,0053$ и $(C_2/C_1)^{\max} = 0,1647$.

Из анализа рисунка 19 видно, что максимально возможное значение коэффициента составляет $\eta_{\text{сх}}^{\max} = 0,948$. С этой точки опущенный перпендикуляр показывает значения оптимального отношения емкостей $C_2 / C_1^{\text{опт}} = 0,0261$.

3.4 Расчет коэффициента использования импульса напряжения и допустимых пределов изменения соотношения C_2/C_1

Расчет коэффициента использования импульса ведется по формуле:

$$\eta_{\text{в}} = e^{-\frac{P_1 \ln(P_2/P_1)}{P_2 - P_1}} - e^{-\frac{P_2 \ln(P_2/P_1)}{P_2 - P_1}} \quad (9)$$

где P_1 и P_2 – корни характеристического уравнения.

Корни характеристического уравнения находятся по формулам:

$$P_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{7,246 \times 10^{-5}} = 1,38 \times 10^4 \text{ с}^{-1} \quad (10)$$

$$P_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{4,615 \times 10^{-8}} = 2,167 \times 10^7 \text{ с}^{-1} \quad (11)$$

Полученные значения подставляем в формулу (9) и находим коэффициент волны.

$$\eta_b = e^{-\frac{1,38 \times 10^4 \ln \left[\frac{2,167 \times 10^7}{1,38 \times 10^4} \right]}{2,167 \times 10^7 - 1,38 \times 10^4}} - e^{-\frac{2,167 \times 10^7 \ln \left[\frac{2,167 \times 10^7}{1,38 \times 10^5} \right]}{2,167 \times 10^7 - 1,38 \times 10^4}} = 0,995$$

Таким образом, коэффициент использования волны равен 0,995.

3.5 Расчет основных параметров разрядной схемы генератора импульсов

После определения максимальных значение коэффициентов использования импульса разрядной схемы приступаем к расчету основных параметров генератора.

Выходное напряжение импульсного генератора определяется по формуле:

$$U_{\text{вых}} = 0,9 \cdot n \cdot \eta_{\text{сх}} \cdot \eta_b \cdot U_{\text{зар}} \quad (12)$$

где $\eta_{\text{сх}}$ – коэффициент схемы;

η_b – коэффициент пропускания волны;

n – число ступеней генератора;

$U_{\text{зар}}$ – зарядное напряжение, кВ [26].

Преобразуя формулу (12) определяем количество ступеней генератора:

$$n = \frac{U_{\text{вых}}}{0,9 \cdot \eta_{\text{сх}} \cdot \eta_b \cdot U_{\text{з}}} = \frac{600 \times 10^3}{0,9 \cdot 0,948 \cdot 0,995 \cdot 50 \times 10^3} = 11,783 \quad (13)$$

Так как число ступеней не может быть дробным, округляем до ближайшего целого значения, т.е. принимаем 12.

Из проделанного расчета используя значение оптимального отношения емкостей можно определить ударную ёмкость генератора.

$$\frac{C_2}{C_1} = 0,0261 \rightarrow C_1 = \frac{C_2}{0,0261} = \frac{6,62 \times 10^{-10}}{0,0261} = 2,536 \times 10^{-8} \text{ Ф} \quad (14)$$

где C_1 – ударная емкость генератора;

C_2 – ёмкость нагрузки.

Необходимая емкость конденсатора находится следующим образом:

$$C_3 = C_1 \cdot n = 2,536 \times 10^{-8} \cdot 12 = 3,044 \times 10^{-7} \text{ Ф} = 0,304 \text{ мкФ} \quad (15)$$

Основываясь на полученном значении расчётной емкости, выбран подходящий конденсатор типа ИК-100-0,35.

С выбранным конденсатором рассчитываем ударную ёмкость генератора.

$$C_4 = \frac{C_3}{n} = \frac{0,35 \times 10^{-6}}{12} = 29,17 \times 10^{-9} \text{ Ф} \quad (16)$$

Расчёт отношения C_2/C_1 с новым значением ударной ёмкости генератора.

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{6,62 \times 10^{-10}}{29,17 \times 10^{-9}} = 0,023$$

Определяем, входит ли только что рассчитанное отношение C_2/C_1 в интервал от минимального отношения емкостей до максимального отношения емкостей.

$$(C_2/C_1)^{\min} > C_2/C_1 > (C_2/C_1)^{\max} = 0,0053 > 0,023 > 0,1647 \quad (17)$$

Условие (17) является справедливым, поэтому принимаем число ступеней генератора 12 и разрядную емкость $29,17 \times 10^{-9} \text{ Ф}$.

Находим расчетный коэффициент схемы по формуле (5), который не должен быть ниже 0,9 от максимального:

$$\eta_{\text{сх}}^{\text{расч}} = \frac{1}{2 \cdot (1 + 0,023)} + \sqrt{\left[\frac{1}{2 \cdot (1 + 0,023)} \right]^2 - \frac{4,615 \times 10^{-8}}{7,246 \times 10^{-5} \cdot 0,023}} = 0,948$$

Это значение вполне соответствует требованию.

Определяем значение выходного напряжения с рассчитанным коэффициентом разрядной схемы.

$$U_{\text{вых}} = 0,9 \cdot n \cdot \eta_{\text{сх}}^{\text{расч}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot U_{\text{зар}} = 0,9 \cdot 12 \cdot 0,948 \cdot 0,995 \cdot 50 \times 10^3 = 611,2 \text{ кВ} \quad (18)$$

Определяем фронтовое и разрядное сопротивления.

Фронтовое сопротивление $R_{\text{ф}} (R_1)$:

$$R_{\text{ф}} = \frac{\tau_{\text{ф}}}{3,25 \cdot C_2 \cdot \eta_{\text{сх}}^{\text{расч}}} = \frac{0,15 \times 10^{-6}}{3,25 \cdot 6,62 \times 10^{-10} \cdot 0,948} = 73,528 \text{ Ом} \quad (19)$$

Разрядное сопротивление R_p (R_2):

$$R_p = \frac{R_\phi \cdot \eta_{\text{сх}}^{\text{расч}} \cdot \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)}{1 - \eta_{\text{сх}}^{\text{расч}} \cdot \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)} = \frac{73,528 \cdot 0,948 \cdot (1 + 0,023)}{1 - 0,948 \cdot (1 + 0,023)} = 2,356 \times 10^3 \text{ Ом} \quad (20)$$

Ещё одной важной характеристикой является максимальная запасаемая генератором энергия:

$$W_{\text{макс}} = \frac{C_\Gamma \cdot U_{\text{вых}}^2}{2} \quad (21)$$

$$W_{\text{макс}} = \frac{29,17 \times 10^{-9} \cdot (600 \times 10^3)^2}{2} = 5,25 \times 10^3 \text{ Дж}$$

где C_Γ – ударная ёмкость генератора;

$U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение генератора.

3.6 Расчет зарядной схемы

Зная частоту следования импульсов и максимальную запасаемую энергию можно оценить среднюю мощность зарядного устройства.

Расчетная мощность трансформатора:

$$P = \frac{W_{\text{макс}}}{f_{\text{имп}}} = \frac{5,25 \times 10^3}{10} = 525 \text{ Вт} \quad (22)$$

где $W_{\text{макс}}$ – максимальная запасаемая энергия генератором, Дж;

$f_{\text{имп}}$ – частоту следования импульсов, имп/с.

Исходя из зарядного напряжения и рассчитанной мощности выбрано зарядное устройство типа ВТМ-20/50.

В параллельной схеме соединения высоковольтных конденсаторов установлены зарядные катушки, величина индуктивности которых находится по формуле:

$$L_{\text{зар.кат}} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{N^2}{l} \cdot \frac{\pi \cdot D}{4} \quad (23)$$

$$L_{\text{зар.кат}} = 2,0 \times 10^2 \cdot 4\pi \times 10^{-7} \cdot \frac{85^2}{256 \times 10^{-3}} \cdot \frac{\pi \cdot 45 \times 10^{-3}}{4} = 11 \times 10^{-3} \text{ Гн}$$

где μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м;
 μ – магнитная проницаемость сердечника;
 N – число витков зарядной катушки, вит.;
 l – длина катушки, м;
 D – диаметр зарядной катушки, м.

3.7 Расчёт геометрии разрядного промежутка

Основываясь на литературном источнике [27], получено напряжение пробоя, которое составляет 26,25 кВ при давлении рабочего газа 10 атм для искрового промежутка 1 мм. Исходя из этого, определим расстояние между рабочими поверхностями разрядников для установленных параметров.

$$U_1 = 26,25 \text{ кВ}, S_1 = 1 \text{ мм}, U_{\text{зар}} = 50 \text{ кВ}, S_2 = ?$$

$$\frac{U_1}{S_1} = \frac{U_{\text{зар}}}{S_2} \rightarrow S_2 = \frac{U_{\text{зар}} \cdot S_1}{U_1} = \frac{50 \cdot 1}{26,25} = 1,904 \text{ мм} \approx 1,9 \text{ мм} \quad (24)$$

В результате выполнения вычисления, определено расстояние разрядного промежутка, которое составляет 1,9 мм при давлении рабочего газа 10 атм и зарядном напряжении 50 кВ.

3.8 Разработка типа и конфигурации электродов

Для стабильной работы разрядников и качественных процессов зарядки и разрядки конденсаторов ступеней генератора, появляется необходимость в правильном определении конфигурации электродов в зависимости от расстояния искрового промежутка. Систему электродов, применяемых в газонаполненных разрядниках, рассматриваемые в данном разделе можно определить, как стержень-плоскость, потому что диаметр рабочей детали одного электрода D_1 в 2,5 раза больше диаметра другого D_2 .

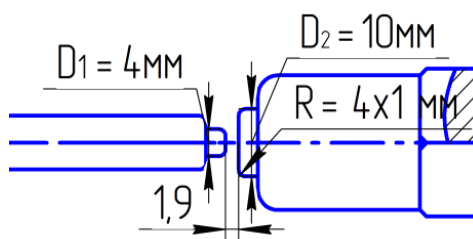


Рисунок 20 – Электроды

Электрическое поле разрядного промежутка упомянутой системы электродов можно считать слабонеоднородным. Это подтверждается тем, что допустимое значение отношения расстояния разрядного промежутка S к диаметру рабочей детали электрода D не превышает 0,5 [28].

$$S/D < 0,5 \quad (25)$$

$$S/D_2 < 0,5 \rightarrow 1,9 / 10 = 0,19 < 0,5$$

$$S/D_1 < 0,5 \rightarrow 1,9 / 4 = 0,475 < 0,5$$

Расчёт по условию (25) показывает, что выполненные условия для каждого диаметра рабочей детали электрода, электрическое поле в целом является квазиоднородным.

Для того, чтобы на равномерность поля разрядного промежутка и, соответственно, на величину пробивного напряжения не влияли окружающие элементы, расстояние от одной системы электродов до другой, находится по условию [29]:

$$l \geq 7,5 \cdot D_3 = 7,5 \cdot 27 = 202,5 \text{ мм} \quad (26)$$

где D_3 – наибольший диаметр системы электродов, мм.

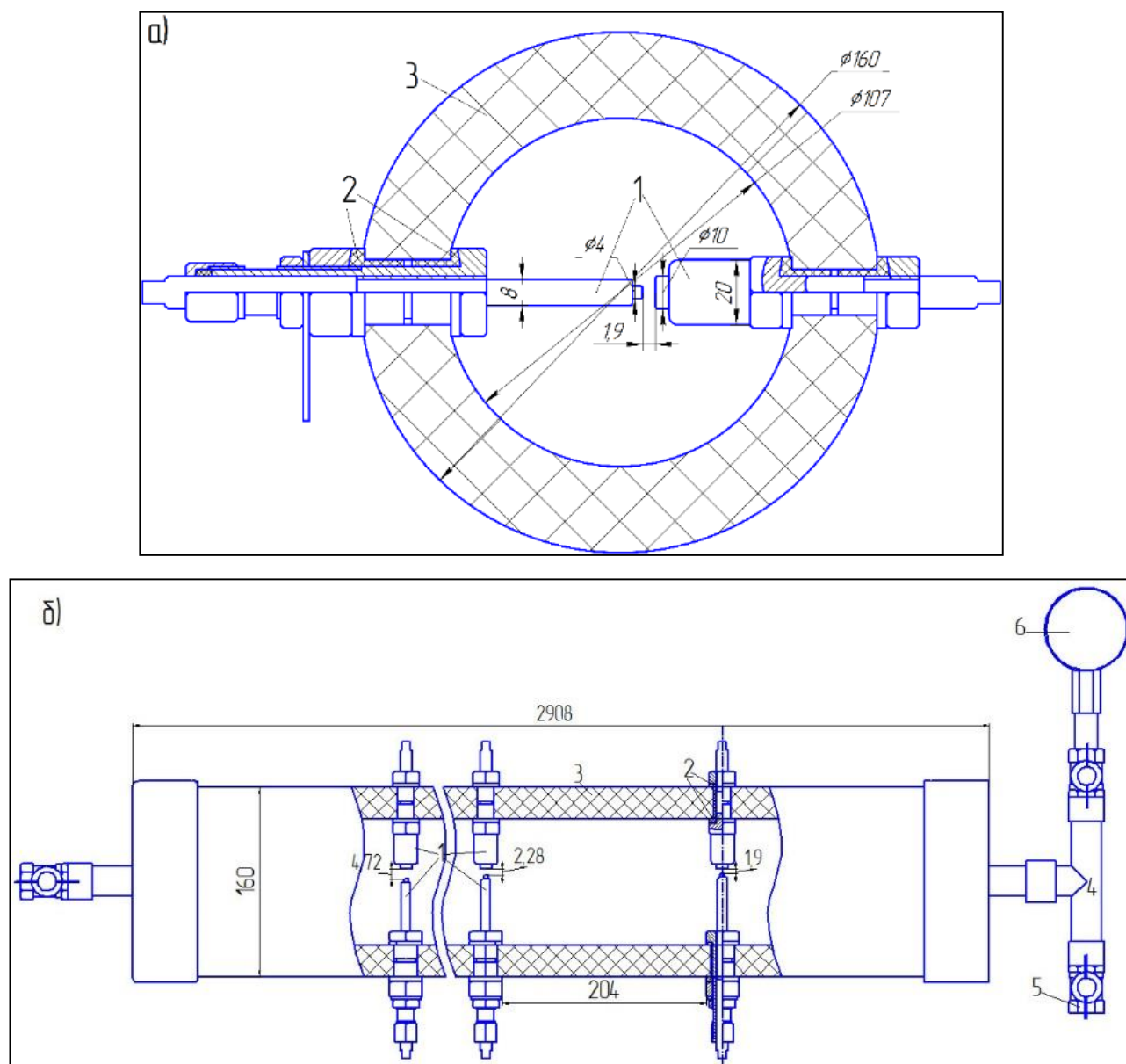
По выполненному условию определено расстояние с наружной стороны электродов, так как окружающим газообразным диэлектриком является воздух. Из-за технологических соображений полученный результат округлили до 204 мм.

3.9 Конструкция газонаполненных разрядников

Газонаполненная конструкция разрядников состоит из двенадцати систем электродов с особой конфигурацией, которые с помощью технологических

операций, закреплены в диэлектрической трубе, заполненной изоляционным газом под давлением, превышающее атмосферное. Рабочий газ подаётся в систему коммутации через кран и трубный тройник до определённого давления, которое регистрирует манометр.

На рисунке 21 представлен чертёж газонаполненных разрядников конструкции в двух видах.



а) – чертёж, вид спереди разрядников, б) – чертёж, вид сверху разрядников.
 1 – высоковольтные разрядники; 2 – уплотнители; 3 – диэлектрическая труба;
 5 – шаровой кран; 4 – трубный тройник; 6 – манометр.

Рисунок 21 – Конструкция газонаполненных разрядников

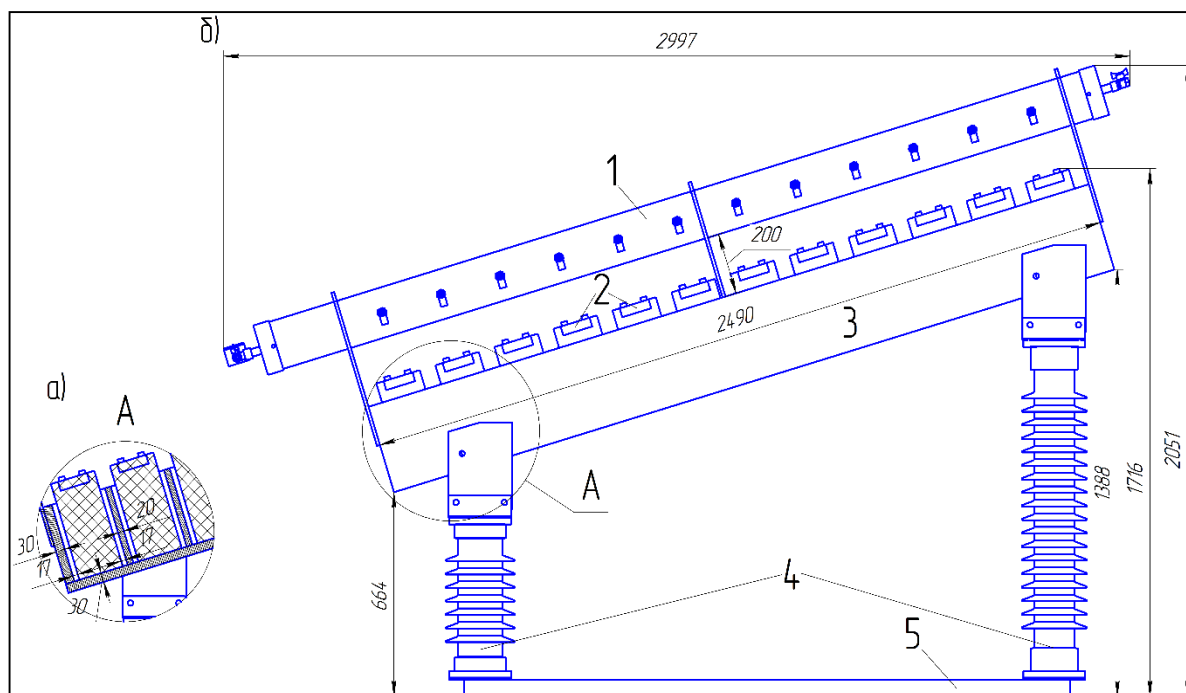
В данной конструкции электрод, имеющий меньший диаметр обладает способностью двигаться в вращательно-поступательном направлении. Данная способность электрода необходима для регулирования геометрии разрядного промежутка, а другой электрод находится в неподвижном состоянии.

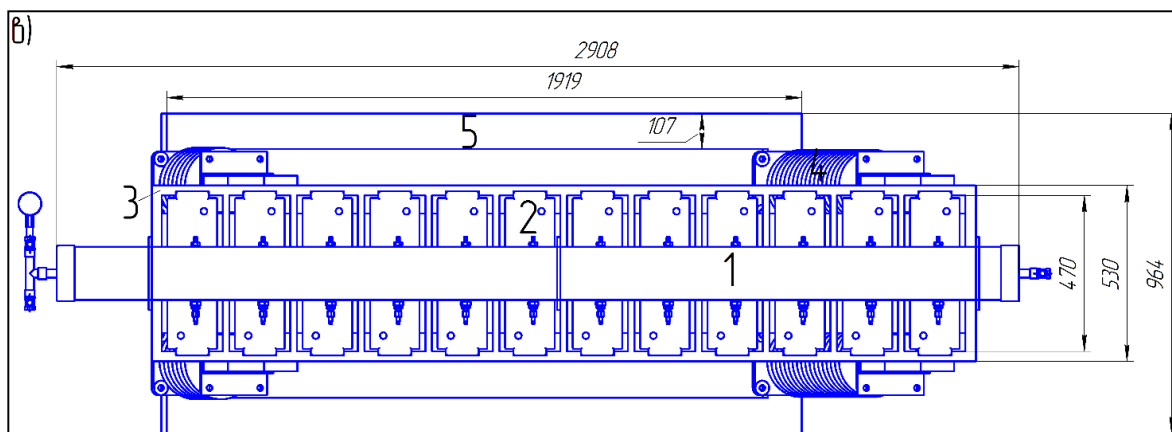
Достоинством конструкции является изолирование от шума и ультрафиолетовых лучей, уменьшение разрядного сопротивления и индуктивности разрядного контура, снижение влияния на пробивные напряжения.

3.10 Конструкция генератора импульсных напряжений

Каркас генератор состоит из двенадцати ступеней, в каждой из которой находится по электротехническому элементу. Несущая конструкция жёстко закреплён с опорными изоляторами при помощи болтового соединения, уголков и переходных плашек, а изоляторы неподвижно установлены на железной рамке. Вдоль центральной оси несущей конструкции генератора при помощи деревянных держателей, установлена параллельно конденсаторам, газонаполненная конструкция разрядников.

На рисунке 22 представлен чертёж генератора в двух видах





а) – фрагмент генератора, б) – чертёж, вид сбоку генератора, в) – чертёж, вид сверху генератора.

1 – газонаполненная конструкция разрядников; 2 – импульсные конденсаторы; 3 – каркас; 4 – опорные изоляторы; 5 – железная рамка.

Рисунок 22 – Генератора импульсных напряжений

Данная конструкция обладает большой механической прочностью и устойчивостью; доступностью технического ремонта и текущего наблюдения за состоянием элементов, модульностью.

3.11 Опыты холостого хода и коротко замыкания

После конструирования генератора, выполняется следующий важный этап, который заключается в проведение опытов холостого хода и коротко замыкания, при давлении 3,8 атм рабочего газа в разрядных промежутках.

Перечисленные выше опыты необходимы для определения параметров генератора.

Из опыта ХХ можно найти следующие величины: паразитная емкость генератора C_n и максимальное значение напряжения на холостом ходу U_{xx} .

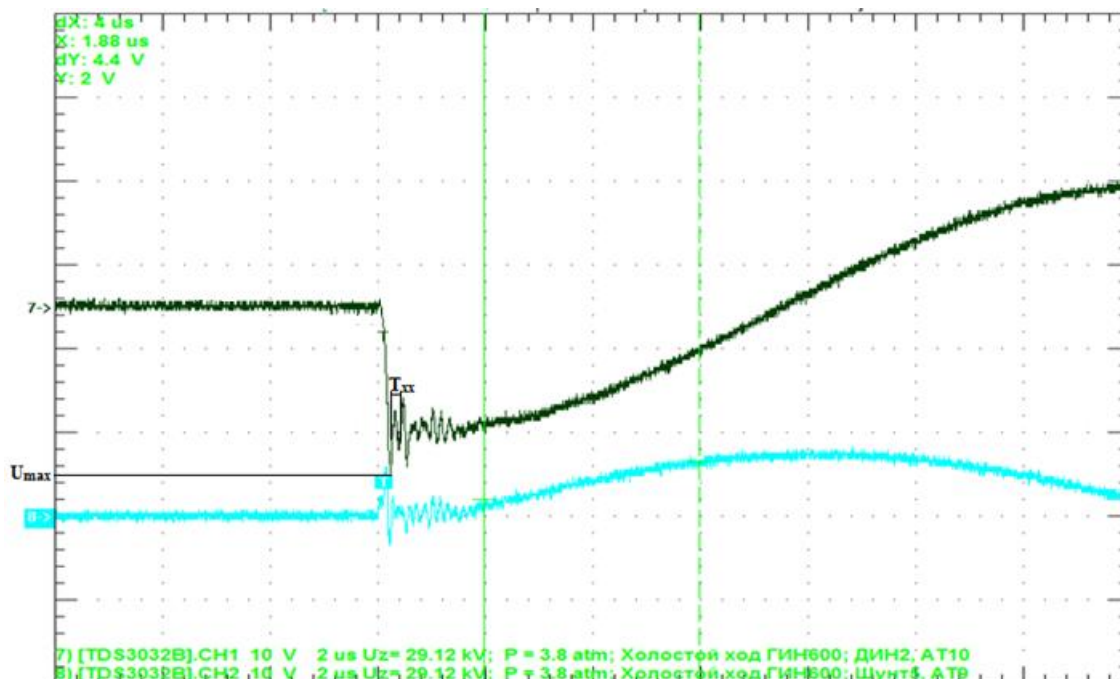


Рисунок 23 – Опыт холостого хода

Эквивалентную паразитную емкость генератора определяется из периода холостого хода:

$$T_{xx} \cong 2\pi\sqrt{L_{\pi} \cdot C_{\pi}}, \quad (27)$$

где T_{xx} – периода холостого хода, с;

L_{π} – индуктивность разрядного контура, Гн;

C_{π} – эквивалентную паразитную емкость генератора, Ф.

$$C_{\pi} = \frac{T_{xx}^2}{4\pi^2 L_{\pi}} = \frac{(170 \times 10^{-9})^2}{4\pi^2 \cdot 13,89 \cdot 10^{-6}} = 5,269 \times 10^{-11} \text{ Ф} = 52,69 \text{ пФ}$$

Исходя из опыта КЗ с помощью осциллограммы можно определить такие величины, как индуктивность разрядного контура L_{π} и максимальное значение тока $I_{кз}$.

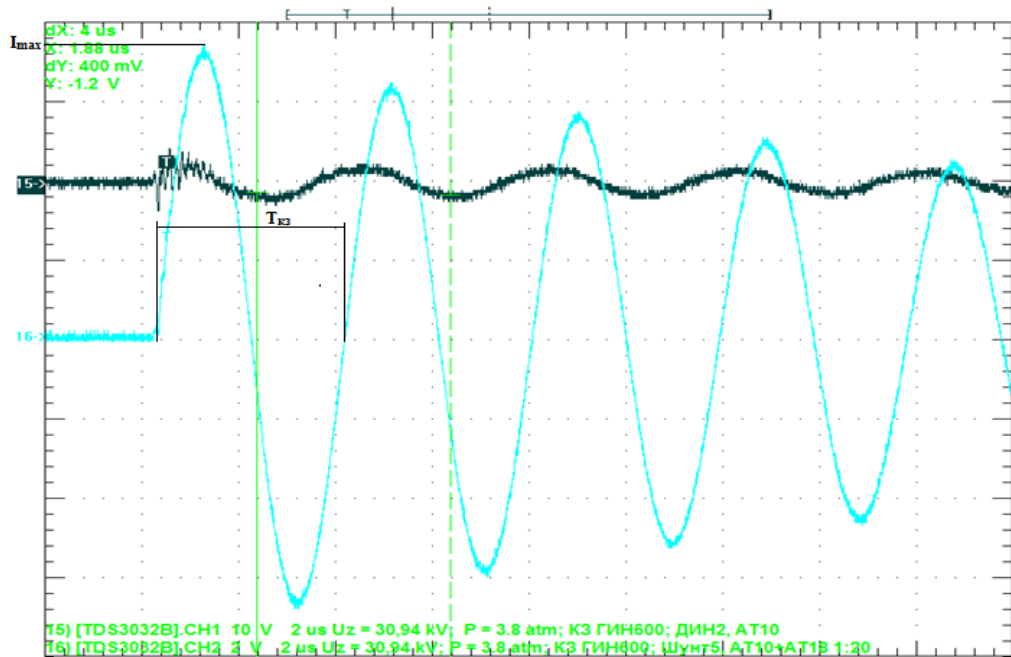


Рисунок 24 – Опыт короткого замыкания

Индуктивность разрядного контура определяется из периода короткого замыкания генератора:

$$T_{кз} \cong 2\pi\sqrt{L_{п} \cdot C_{г} \cdot \ln \Delta}, \quad (26)$$

где $T_{кз}$ – периода короткого замыкания, с;

$L_{п}$ – индуктивность разрядного контура, Гн;

$C_{г}$ – ударная ёмкость генератора, нФ;

Δ – декремент затухания кривой тока:

$$\Delta = \frac{I_1}{I_3} = \frac{0,37}{0,32} = 1,156 \quad (27)$$

где I_1 – амплитудные значения первой полуволны тока;

I_2 – амплитудные значения третьей полуволны тока.

$$L_{п} = \frac{T_{кз}^2}{4\pi^2 C_{г} \cdot \ln \Delta^2} = \frac{(4 \times 10^{-6})^2}{4\pi^2 \cdot 29,17 \times 10^{-9} \cdot 0,145^2} = 1,389 \cdot 10^{-5} \text{ Гн} = 13,89 \text{ мкГн}$$

Волновое сопротивление генератора Z находится по следующей формуле

$$Z = \sqrt{\frac{L_{п}}{C_{г}}} = \sqrt{\frac{13,89 \times 10^{-6}}{29,17 \times 10^{-9}}} = 21,824 \text{ Ом} \quad (28)$$

Полученные значения являются приемлемые для генератора с данными геометрическими и техническими параметрам.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Научно-исследовательская работа заключается в конструировании высоковольтного генератора для электроимпульсного (ЭИ) бурения скважин горных пород и мёрзлых грунтов на открытой местности.

Бурение горных пород – один из самых затратных и трудоемких технологических процессов при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. В настоящее время традиционные способы воздействия на горные породы, основанные на механическом разрушении, практически приблизились к пределу своих технических возможностей. В связи с этим ЭИ бурение является более эффективным способом разрушения горных пород, обеспечивающее на длительную перспективу конкурентоспособность. Так как ЭИ способ отвечает основным требованиям сформулированных исходя из большого опыта, недостатков и проблем, связанных с механическим способом.

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

Задачи раздела:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

– определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [30].

4.1 Инициализация проекта

4.1.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ

Проект выполняется по заказу компании из Швейцарии, в Научно-исследовательском Томском политехническом университете, институте физики высоких технологий в лаборатории №11. Магистерская диссертация посвящена конструированию высоковольтного генератора для электроимпульсного бурения. Состав проектной группы представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Состав проектной группы

№	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1	Муратов В.М. НИ ТПУ, зав.лаб. №11	Руководитель проекта (Научный руководитель)	Предоставление заданий; консультации; обсуждение результатов, диссертации
2	Князев С.А. НИ ТПУ, магистрант группы 4ТМ41	Исполнитель по проекту (Магистрант)	Разработка, анализ научно-технической литературы, проведение испытаний, написание диссертации

Для реализации электроимпульсного способа бурения необходимо выполнить следующий алгоритм задач, связанный с научными, техническими и экономическими проблемами. Основные выдвинутые в данном проекте задачи приведены на рисунке 25.

Задачи, указанные на рисунке, фигурируют в этапе научно-исследовательской работы (НИР) проекта, так как эти проблемы связаны с разработкой главных элементов данной установки с учётом всех тонкостей научно-технической деятельности. На данной стадии основная роль отведена ученым-разработчикам. Задачи на этом этапе являются только для единичного установок, потому что процесс реализации ЭИ установки является очень

сложным с точки зрения электротехники и науки. Для выпуска установки, проект приобретает необходимость в коммерциализации. В помощь реализации данного шага необходимо привлечь такие стороны, как предпринимательство и менеджмент.

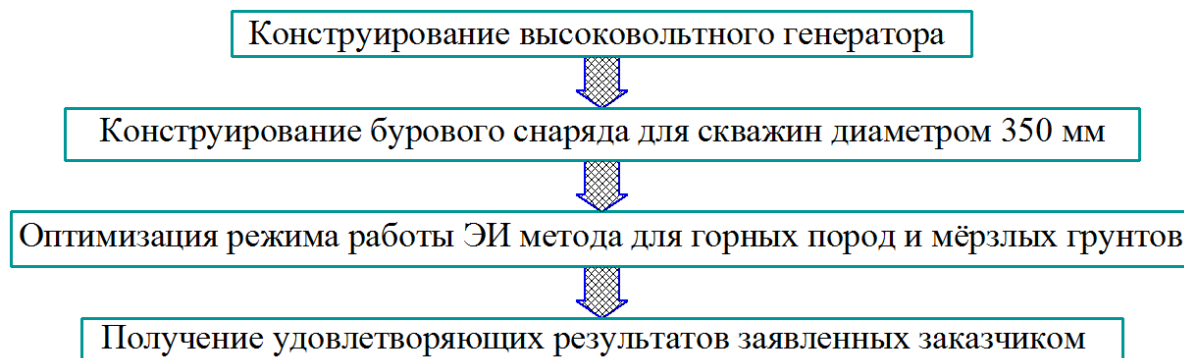


Рисунок 25 – Дерево целей

Изначально задачи проекта осуществлялись в лаборатории № 11 в 11 корпусе ТПУ, связи с проведением экспериментов данная установка переехала на тельферную, закрытую испытательную площадку. Главным объектом разработки и оптимизации технологии является экспериментальная ЭИ установка: высоковольтный генератор и буровой снаряд. Данная установка предназначена для электроимпульсного бурения горных пород и мёрзлых грунтов. В данный момент проект находится на завершении стадии НИР, получение необходимых результатов.

В настоящее время в основном применяются механические методы, которые является недостаточно эффективными в бурении, связи с этим к ЭИ способу бурения проявляют интерес следующие иностранные компании: компания в Швейцарии, Норвегии и в Германии – Schlumberger.

Электроимпульсный способ имеет следующие конкурентные преимущества по сравнению с механическим способом:

1) бездолготное разрушение горных пород, устраняющее ограничения, накладываемые стойкостью породоразрушающего инструмента, и исключаящее потери энергии на трение;

2) разрушение горной породы в импульсном режиме, устраняющее значительный расход энергии на пластическую деформацию, позволяющее

концентрировать большие мощности при невысоких исходных количествах энергии;

3) обеспечение регулируемой степени измельчения, устраняющее затраты энергии на переизмельчение продуктов разрушения;

4) нагружение горной породы с преобладанием напряжений разрыва и сдвига, а не сжатия, т. к. прочность на разрыв и сдвиг существенно (в $10 \div 30$ раз) ниже прочности на сжатие;

5) отсутствие промежуточных трансформаций энергии, связанных со значительными её потерями;

6) отсутствие значительной зависимости производительности процесса разрушения от крепости горных пород;

7) хорошая управляемость характером и направленностью разрушения.

Из-за того, что в России нет потребителей электроимпульсной технологии, а широко распространены фирмы занимающиеся созданием традиционной технологии, то ближайшими конкурентами ЭИ способа являются следующие фирмы:

1. ОАО "Завод геологоразведочного оборудования и машин" "ГРОМ", г. Тюмень – современное, хорошо оснащенное предприятие с уникальным опытом по проектированию и изготовлению нефтепромыслового, бурового и геологоразведочного оборудования.

2. ООО "Волгоградский завод буровой техники", г. Волгоград – проектирование, разработка и производство бурового, противовыбросового и другого нефтегазового оборудования, прежде всего – буровых установок.

3. Drillmec, Италия – компания занимается проектированием и послепродажным сервисом установок для бурения и капитального ремонта нефтяных и газовых скважин на суше и в море, а также сопутствующего бурового оборудования, запасных частей.

Отметим факторы макросреды, влияющие на реализацию проекта:

1) Политические. Отсутствие государственных программ по поддержке предприятий в области разработки электроимпульсного бурения.

- 2) Социально-культурные. Отсутствует просвещенность населения и отечественных потребителей в области альтернативных способов бурения.
- 3) Международные. Затрудненность взаимодействия с зарубежными потребителями и выхода на международный рынок
- 4) Научно-технические. Возможность финансовой поддержки со стороны государства и частных лиц (гранты, проекты и др.)
- 5) Экономические. Отсутствие рынка ЭИ способа в России, недостаточное его развитие и монополизированность в мире.

Выполним маркетинговые исследования проекта. Рынок электроимпульсной технологии сформировался недавно. Так как принцип вложенный в данный метод был открыт в 1950–1960-е гг. Электроразрядные технологии, востребованные на этом рынке, разрабатываются при участии научно-технического персонала в научных центрах, в лабораториях. Данный способ является альтернативным и имеет преимущества по сравнению с механическим методом, но выпускать такую технологию может только персонал с соответствующим уровнем образования и опыта. В России таких учреждений насчитывается единицы. В последние десятилетия к ЭИ технологии проявляют интерес только иностранные компании. Проведенные маркетинговые исследования касаются именно электроимпульсного бурения.

4.1.2 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле [31]:

$$HTU = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_i \quad (29)$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

P_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 11 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.5
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 12 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 13 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 14 - Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1=0.5, P_1=7; k_2=0.4, P_2=6; k_3=0.2, P_3=4; k_3=0.2, P_3=2.$$

$$HTU= 0,5 \cdot 7 + 0,4 \cdot 6 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 2 = 3,5+2,4+0,8+0,4=7,1$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет среднюю значимость теоретического и практического уровня, и при этом используется в широком спектре научно-технических направленностях.

4.1.3 SWOT-анализ

Значимым инструментом маркетингового исследования является SWOT-анализ – это акроним слов Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабости), Opportunities (благоприятные возможности) и Threats (угрозы). SWOT-анализ является одним из этапов разработки маркетинговой стратегии. Методология SWOT-анализа предполагает, во-первых, выявление внутренних сильных и слабых сторон, а также внешних возможностей и угроз, и, во-вторых, установление связей между ними [32].

1. Конкурентные активы. Использование сильных сторон для освоения рыночных возможностей (S-O). Способ бурения характеризуется такими важными конкурентными преимуществами, как высокой производительностью, меньшей энергоемкостью, повышенной стойкостью исполнительных органов, экологическая безопасность, которые способны привлечь инвесторов для коммерциализации проекта, выхода на российский и мировой рынок. Учитывая эти преимущества и инновационный характер разработки, можно надеяться на государственную поддержку проекта.

2. Конкурентные пассивы. Преодоление слабых сторон для нивелирования угроз (W-T). Наиболее значимыми недостатками проекта являются отсутствие в составе проектной команды маркетологов и экономистов и, как следствие, отсутствие стратегии развития, малораспространённый способ, отсутствие необходимых учреждений и поэтому малые объемы производства данной технологии. Если в процессе реализации проекта коллектив будет состоять не только из научно-технического персонала, но из высококвалифицированных экономистов, то это позволит провести тщательные исследования мирового и

российского рынков и попытаться выработать стратегию развития. Наличие правильной стратегической позиции позволит нивелировать угрозу неразвитости и монополизированности рынка.

3. Узкие места. Преодоление слабых сторон для освоения возможностей (W-O). Преодоление недостатков, связанных с отсутствием в команде экономистов и маркетологов и с недостаточно высокими объемами производства технологии, откроет возможности для освоения и развития рынка.

4. Безопасность и защита. Использование сильных сторон для нивелирования угроз (S-T). Такие преимущества, как большой опыт работы высококвалифицированной команды проекта, сплоченный, целенаправленный коллектив, помогут добиться успешного выполнения большого объема производства ЭИ технологии, что позволит нивелировать угрозы неразвитости и монополизированности рынка.

Из полученных стратегических альтернатив необходимо выбрать те, которые будут обладать наибольшей силой, весом.

1. Приоритеты угроз – сопоставление угроз с преимуществами и рыночными возможностями. Российский рынок неразвит, внимание потенциальных компании-потребителей и СМИ невысок в области электроразрядных технологии, поэтому в ходе реализации проекта придется столкнуться с проблемами, характерными для первопроходцев рынка. Мировой рынок монополизирован, и поэтому выход туда будет максимально затруднен. Однако учитывая уникальные преимущества ЭИ способа бурения, а также наличие высококвалифицированного состава проектной команды, можно назвать угрозы вполне преодолимыми.

2. Приоритеты развития – немедленное улучшение слабых мест, сопоставление недостатков с преимуществами и рыночными возможностями. Наиболее существенными недостатками, которые необходимо разрешить в ходе реализации проекта являются проблемы, связанные с отсутствием в команде экономистов и маркетологов и малый объем производства. При этом имеется

высокая возможность освоения и развития рынка. Такие возможности могут заинтересовать специалистов по экономике и маркетингу топ-уровня.

Таким образом, в ходе SWOT-анализа удалось выявить наиболее важные проблемы, которые необходимо разрешить в процессе выполнения проекта: повышение объемов производства ЭИ технологии, за счет создания необходимых учреждений и привлечение в команду высококвалифицированных экономистов и маркетологов.

4.2 Планирование комплекса работ на создание проекта

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ [33].

Таблица 15 – Перечень работ и распределение исполнителей

№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Составление и утверждение задания НИР	РП, СД
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	СД
3	Определение последовательности этапов разработки	РП, СД
4	Описание установки и технологического процесса генератора	РП, СД
5	Календарное планирование работ	РП, СД
6	Приобретение необходимых материальных ресурсов для осуществления проекта	РП, СД
7	Расчет параметров генератора	РП, СД
8	Разработка конструкторской документации, утверждение и заказ в опытно-конструкторском цехе	РП, СД
9	Реализация установки	РП, СД
10	Оптимизация режима работы установки	РП, СД
11	Диагностика и анализ полученных результатов	РП, СД
12	Составление отчета	СД

РП – руководителя проекта, СД – студент-дипломник.

Содержание работ

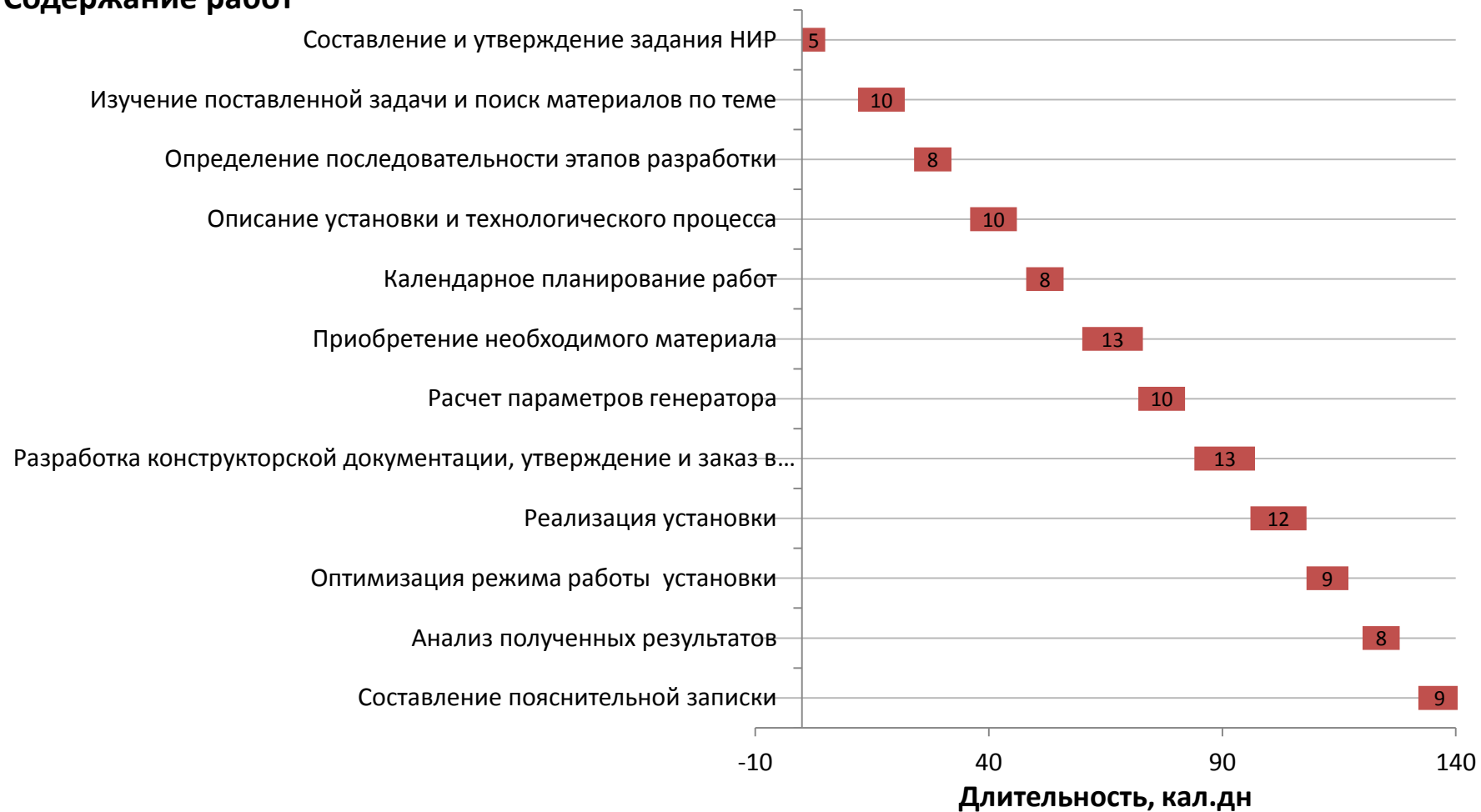


Рисунок 26 – Линейный план график реализации проекта

4.2.1 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} \quad (30)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы, чел.-дн.;

t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы чел.-дн.;

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_p = t_{ож} / Ч \quad (31)$$

где T_p – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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:

$$T_k = T_p \cdot k \quad (32)$$

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:

$$k = \frac{T_{\text{кг}}}{T_{\text{кг}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} \quad (33)$$

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

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

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

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

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

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ $T_{\text{к}}$ нужно округлить до целых чисел.

Результаты расчетов приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Временные показатели проведения ВКР

№ раб.	Исполнители					
		t_{min} чел- дн.	t_{max} чел-дн	$t_{\text{ож}}$ чел-дн	$T_{\text{р}}$ раб.дн	$T_{\text{к}}$ кал.дн
1	РП, СД	4	10	6,4	3,2	5
2	СД	15	20	17	17	25
3	РП, СД	10	14	11,6	5,8	8
4	РП, СД	10	18	13,2	6,6	10
5	РП, СД	7	17	11	5,5	8
6	РП, СД	16	20	17,6	8,8	13
7	РП, СД	12	16	13,6	6,8	10
8	РП, СД	12	27	18	9	13
9	РП, СД	10	25	16	8	12
10	РП, СД	8	20	12,8	6,4	9
11	РП, СД	6	20	11,6	5,8	8
12	СД	4	10	6,4	6,4	9
Итого						130

Таким образом, в проектной деятельности участвуют двое сотрудников: руководитель проекта и студент-дипломник.

4.3 Расчет сметы затрат на проектирование

4.3.1 Бюджет научного проекта

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 [34]: материалы и покупные изделия; основная заработная плата; единый социальный налог; расходы на электроэнергию; накладные расходы.

4.3.2 Расчет материальных затрат

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Расчет стоимости материальных затрат произведен в таблице 17.

Таблица 17 – Расходные материалы

Наименование материала	Цена	Количество	Общая стоимость, руб
Дельта древесины	2435 руб. за 2,5 м	14 м	14610
Высоковольтные конденсаторы	75 990 руб.	12 шт.	911880
Изоляторы (ИОС-35-1000 УХЛ1; ИОС-110-600 УХЛ1)	6 992 руб. 13 242 руб.	4 шт.	40468
Железная рамка (швеллер)	34,4 руб. за 1 м	6 м	1857,6
Полипропиленовая труба	6 892 руб.	4 м	6 892
Рабочая часть разрядников (D ₁ =2,5мм; D ₂ =10 мм)	9,12 руб. 125,59 руб.	24 шт	1616,52
Основная часть разрядников	275 руб. за 1 м	11,5 м	3162,5
Фторопластовые вставки	636,02 руб. за 1 м	0,4 м	255
Итого			980 742

Примечание: Стоимость материалов определены по среднерыночным ценам по России на 20.04.2016 г.

4.3.3 Расчёт оплаты труда работников

Данный пункт расходов включает заработную плату научного руководителя, техника, а также премии, входящие в фонд заработной платы.

Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя [35].

Данные для расчета:

- 1) Оклад: научного руководителя – 30 000 руб., техника 4000 руб.
- 2) Плановый фонд рабочего времени за месяц – 176 часов (22 дня);
- 3) Тарифная ставка.
- 4) Дополнительная заработная плата.
- 5) Районный коэффициент (1,3).

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

$$C_{\text{ч}} = \frac{\text{Оклад}}{\Phi_{\text{рв}}} \quad (34)$$

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

Определяем заработную плату за час для техника:

$$C_{\text{ч}} = \frac{4000}{176} = 22,7 \text{ руб. в час}$$

Основная заработная плата техника за месяц составит:

$$ЗП_{\text{осн}} = C_{\text{ч}} \cdot t \quad (34)$$

$$ЗП_{\text{осн}} = 22,7 \cdot (22 \cdot 8) = 34 \cdot 176 = 3995,2 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата:

$$ЗП_{\text{доп}} = \frac{ЗП_{\text{осн}} \cdot 15}{100} \quad (35)$$

$$ЗП_{\text{доп}} = \frac{3995,2 \cdot 15}{100} = 599,28 \text{ руб}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$ЗП_{\text{общ1}} = ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}} \quad (36)$$

$$ЗП_{\text{общ1}} = 3995,2 + 599,28 = 4594,48 \text{ руб}$$

Общая сумма заработной платы с учетом районного коэффициента в месяц:

$$ЗП_{\text{общ}2} = ЗП_{\text{общ}1} \cdot 1,3 \quad (37)$$

$$ЗП_{\text{общ}2} = 4250,4 \cdot 1,3 = 5525,52 \text{ руб.}$$

Теперь рассчитаем заработную плату научного руководителя:

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

$$C_{\text{ч}} = \frac{30000}{176} = 170,4 \text{ руб. в час}$$

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

Основная заработная плата за проект у руководителя составит:

$$ЗП_{\text{осн}} = 170,4 \cdot (22 \cdot 8) = 170,4 \cdot 80 = 29990,4 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата:

$$ЗП_{\text{доп}} = \frac{29990,4 \cdot 15}{100} = 4498,56 \text{ руб}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$ЗП_{\text{общ}1} = 29990,4 + 4498,56 = 34488,96 \text{ руб}$$

Общая сумма заработной платы с учетом районного коэффициента:

$$ЗП_{\text{общ}2} = 34488,96 \cdot 1,3 = 44835,648 \text{ руб}$$

Тогда, сумма заработных плат составит:

$$ЗП_{\text{общ}} = 44835,648 + 5525,35 = 50360,998 \text{ руб}$$

Таблица 18 – Расчета заработной платы участников проекта

Исполнитель	Оклад (руб.)	Часовая тарифная ставка (руб./час.)	Основная заработная плата (руб.)	Дополнительная заработная плата (руб.)	ЗП с учетом районного коэффициента и надбавки (руб.)
Руководитель	30000	170,4	29990,4	4498,56	44835,648
Техник	4000	22,7	3995,2	599,28	4594,48
Итого					49430,128

Так же для реализации проекта приходилось пользоваться услугами других сотрудников (таблица 19).

Таблица 19 – Расчета оплаты дополнительных услуг

Исполнитель	Часовая тарифная ставка (руб./час.)	Затраченное время на работу, час.	Оплата за сделанную работу, руб.
Токарь	250	40	10000
Сварщик	250	16	4000
Итого			14000

В итоге сумма всех производственных работ составляет 63430,128 руб.

4.3.4 Расчет отчислений от заработной платы

Затраты по этой статье составляют отчисления по единому социальному налогу (ЕСН).

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{соц}} = K_{\text{соц}} \cdot C_{\text{осн}} \quad (38)$$

где $K_{\text{соц}}$ – 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:

$$C_{\text{соц}} = 0,3 \cdot 49430,128 = 14829,1 \text{ руб.}$$

4.3.5 Расчет накладных расходов

В статью включены затраты, связанные с обслуживанием и организацией производства. Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования а также затраты на электроэнергию.

Таблица 20 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\mathcal{E}_{об}$, руб.
Высоковольтный трансформатор	200	19,2	11520
Насос	200	5	3000
Итого			14520

В таблице 20 выполнены расчеты по затратам ресурсов на электроэнергию по формуле:

$$\mathcal{E}_{об} = (P_{об} \cdot C) \cdot t_{об} \quad (40)$$

где M – Мощность, кВт

C – Стоимость, 1 кВт/час 3 рубль

$t_{об}$ – Время работы оборудования, час.

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации [36]. Оборудование, которое амортизируется, начинается от 20 тыс. рублей. Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле 8.

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100\%}; H_A = \frac{1}{T_{г}} \cdot 100\% \quad (41)$$

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

$T_{г}$ – гарантийный срок изделия;

H_A – проценты отчислений на амортизацию.

Таблица 21 – Амортизационные отчисления

№	Оборудование	Кол-во	Цена, руб	Норма амортизации, %	Амортизация в год, руб
1	Высоковольтный трансформатор	1	560000	20	112000
2	Высоковольтные конденсаторы	12	911880	20	182376
3	Насос	1	106 192,35	20	21238,47
Итого					315614,47

4.3.6 Полная смета затрат на выполнение проекта

Проанализировав выше изложенное, можно составить полную смету затрат на выполнение проекта.

Таблица 22 – Общие затраты на проектирование

№	Виды расходов	Затраты, руб.
1	Затраты на расходные материалы	980 742
2	Заработная плата	63 430,128
2	Отчисления на страховые выплаты	14 829,1
4	Электроэнергия	14 520
5	Амортизация	315 614,47
Общая сумма затрат		1 389 136

Таким образом финансовая доля всех затрат на выполнение проекта составляет 1 389 136рублей.

На основании перечисленных вида расходов для удобства была составлена диаграмма в затратных рублях (рисунок 27).

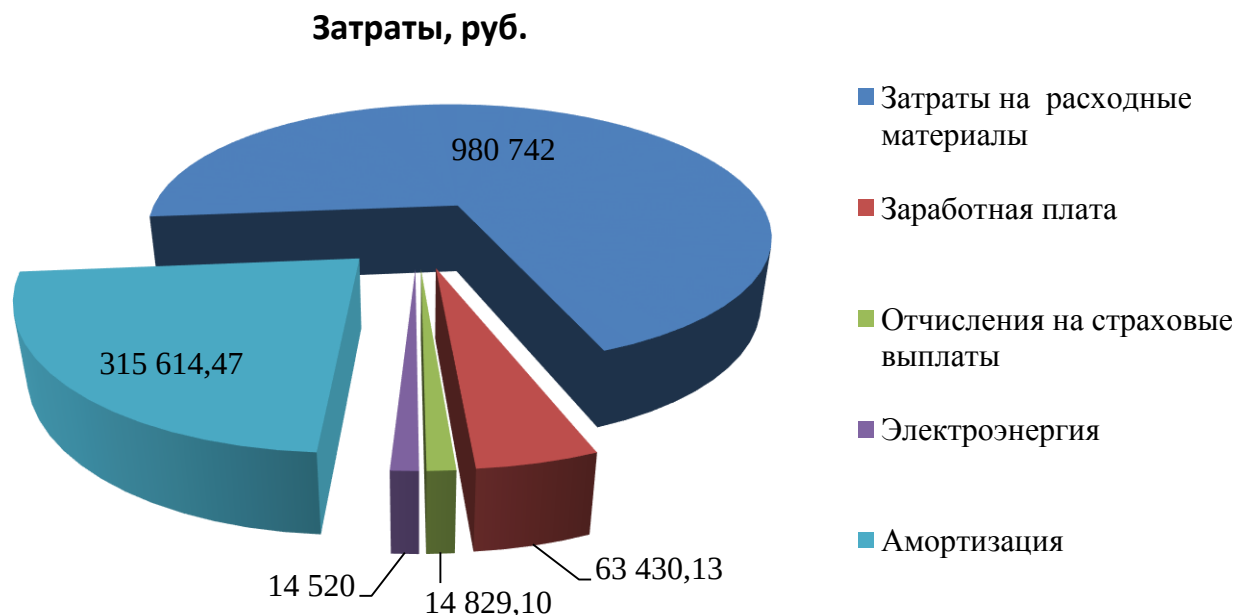


Рисунок 27 – Полная смета затрат на выполнение проекта

4.4 Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности

В данном разделе на основе расчета интегрального показателя эффективности будет определена эффективность научно-технического проекта. Нахождение эффективности проекта связано с определением двух составляющих: финансовая эффективность и ресурсоэффективность.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как [37]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (42)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } 1} = \frac{1\,389\,136}{1\,500\,000} = 0,93; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп } 2} = \frac{1\,500\,000}{1\,500\,000} = 1; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп } 3} = \frac{1\,250\,000}{1\,500\,000} = 0,83.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i \quad (43)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i - го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 23.

Таблица 23 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Критерии	Объект исследования			
	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Надежность	0,2	5	5	4
2. Универсальность	0,2	5	4	4

Продолжение таблицы 23

Критерии	Объект исследования			
	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
4.Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,4	5	5	4
5.Ремонтопригодность	0,3	5	5	5
6. Энергосбережение	0,2	5	4	5
Итого	1,45	7,1	6,7	6,5

Примечание:

Исп.1 – стоимость реально рассчитанного проекта,

Исп.2 – примерная оценка максимальной стоимости проекта,

Исп.3 – примерная оценка минимальной стоимости проекта.

$$I_{p-исп\ 1} = 5*0,2 + 5*0,2 + 4*0,15 + 5*0,4 + 5*0,3 + 5*0,2 = 7,1$$

$$I_{p-исп\ 2} = 5*0,2 + 4*0,2 + 4*0,15 + 5*0,4 + 5*0,3 + 4*0,2 = 6,7$$

$$I_{p-исп\ 3} = 4*0,2 + 5*0,2 + 4*0,15 + 4*0,4 + 5*0,3 + 5*0,2 = 6,5$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп\ i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп\ i} = \frac{I_{p-исп\ i}}{I_{финр\ i}} \quad (44)$$

$$I_{исп\ 1} = \frac{7,1}{0,93} = 7,64; \quad I_{исп\ 2} = \frac{6,7}{1} = 6,7; \quad I_{исп\ 3} = \frac{6,5}{0,83} = 7,83.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 24) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп\ i}}{I_{исп\ max}} \quad (45)$$

Таблица 24 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,93	1	0,83
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	7,1	6,7	6,5
3	Интегральный показатель эффективности	7,64	6,7	7,83
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,96	0,86	1

Реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Заключение

Как уже упоминалось выше, описанный в научной работе способ является альтернативным и имеет преимущества по сравнению с механическим методом, но выпускать такую технологию может только научно-технический персонал с соответствующим уровнем образования и опыта в научных центрах и в лабораториях.

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. Одной из такой проблемы является привлечение в команду высококвалифицированных экономистов и маркетологов.

- разработан календарный план проекта и построен календарный план-график. В проектной деятельности участвуют двое сотрудников: руководитель проекта и студент-дипломник.

- определена трудоемкость работ, которая составила 130 календарных дней.

- составлена смета всех затрат на реализацию проекта, общая сумма затрат которых равняется 1 389 136 рублей.

Подводя итоги оценки исследуемой ЭИ технологии разрушения по критериям ресурсоэффективности и ресурсосбережению, следует выделить, что при анализе по всем показателям и расчетам электроимпульсное бурение скважин горных пород и мёрзлых грунтов вполне конкурентоспособное и актуальное для применения в нефтегазовой и горнодобывающей промышленности. Проект будет приносить прибыль достаточную для существования на мировом рынке сбыта и приобретёт необходимость потребности в ресурсодобывающих отраслях.

5 Социальная ответственность

В текущем разделе рассматривается безопасность и экологичность, как для руководителя и группы, выполняющих научно-техническую работу, так и для остального населения и окружающей среды.

Научно-исследовательская работа заключается в расчёте и проектирование высоковольтного генератора для электроимпульсного бурения скважин диаметром 350 мм. Данный генератор импульсов изготавливается для высоковольтного импульсного бурения горных пород и мёрзлых грунтов на открытой местности. В научно-технических источниках данную технологию называют, как электроимпульсный (ЭИ) способ бурения.

Бурение горных пород – один из самых затратных и трудоемких технологических процессов при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. В настоящее время традиционные способы воздействия на горные породы, основанные на механическом разрушении, практически приблизились к пределу своих технических возможностей. В связи с этим ЭИ бурение является более эффективным способом разрушения горных пород, обеспечивающее на длительную перспективу конкурентоспособность. Так как ЭИ способ отвечает основным требованиям сформулированных исходя из большого опыта, недостатков и проблем, связанных с механическим способом.

Характеристика рабочей зоны

Научно-исследовательская работа проводится на базе лаборатории №11 ИФВТ ТПУ. В данный момент (ЭИ) буровая установка размещена на тельферной, закрытой испытательной площадке оборудованной кран-балкой.

В нашем случае электроимпульсная буровая установка состоит из зарядной цепочки, системы промывки скважины и главных конструкторских, электротехнических элементов: генератора импульсов высокого напряжения, бурового снаряда.

На основе совокупности рабочей зоны, где размещается (ЭИ), буровая установка будут рассмотрены опасные и вредные факторы.

При активировании установки в процессе работы можно столкнуться с рядом вредных факторов: шумы и вибрации, электромагнитные излучение и ультрафиолетовое, электрическое поле промышленной частоты (50 Гц), недопустимые условия микроклимата, недостаточная освещенность.

Также присутствуют и опасные факторы: поражение электрическим током, возможность возникновения взрыва и пожара.

5.1. Техногенная безопасность

5.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

Шум

Основными источниками шума на испытательной площадке является насос и генератор импульсного напряжения.

В процессе интенсивного шумового воздействия на организм человека, наблюдается нарушения психических и физиологических свойств, неблагоприятное влияние на работу нервных процессов, способствует развитию утомления, снижению работоспособности и производительности труда, изменениям в сердечно-сосудистой системе и появлению общих и профессиональных заболеваний (тугоухость, неврит слухового нерва и др.), а также производственный травматизм. Уровень звукового давления в закрытых испытательных площадках для проведения экспериментов, не должен превышать 75 дБА [38].

Мероприятия по снижению шума от генератора импульсного напряжения были приняты при конструировании, путём расположения высоковольтных разрядников в непрозрачной толстостенной диэлектрической трубе. По снижению шума от насоса технические мероприятия не проводились, но есть возможность применения звукоизолирующего и звукопоглощающих кожуха, акустических экранов.

Производственная вибрация

Источником вибрации в рабочей зоне является насос и спуско-подъёмный механизм бурового снаряда.

Длительное воздействие вибрации высоких уровней на человеческий организм является следствием развития преждевременного утомления, снижения работоспособности, появлению заболеваемости и нередко к возникновению профессиональной патологии - вибрационной болезни.

В рабочей зоне вибрация по способу передачи является общей. Так как механическое колебание оказывает влияние через опорные поверхности на человеческий организм, в вертикальном положении, на подошвы ног [39].

Мероприятия по коллективной виброзащиты от электронасоса и спуско-подъёмного механизм.

Электронасос размещён от рабочего места в двух метрах на резиновой жёсткой подставке, которая расположена на железобетонной плите, вкопанной в земную кору. Из этого следует, что вибрационные колебания от данного электроэлемента можно свести к минимуму.

Функционирование спуско-подъёмного механизма осуществляется с помощью дистанционного управления. Радиус от данной конструкции до рабочего места составляет не меньше 3 м. При том механизм не осуществляет ударную работу, работу по вращению и запускается только в определенный период времени.

Электромагнитное поле (ЭМП)

Электромагнитное поле образуется в процессе работы генератора.

В результате длительного воздействия электромагнитного поля на организм человека, могут проявиться многообразные последствия. Наиболее хпотенциальными из них являются нарушение нормального состояния нервной системы и сердечно-сосудистой системы человека. Вследствие этого у исполняющего персонала наблюдаются частые головные боли, сонливость или общая бессонница, повышенная утомляемость, слабость, снижение памяти, рассеянность, головокружение, потемнение в глазах, боли в области сердца, изменение кровяного давления и пульса и др.

Максимально возможная частота работы генератора составляет 150 кГц, то для электромагнитных полей радиочастот допустимые уровни воздействия составляют: $E=500\text{В/м}$, $H=50\text{А/м}$, $ЭН_E=20000(\text{В/м})^2\cdot\text{ч}$, $ЭН_H=200(\text{А/м})^2\cdot\text{ч}$ ($ЭН$ -энергетическая нагрузка) [40]. Для защиты персонала от воздействия радиоволн ЭМ излучения применяется, экранирующие средства поглощающих или отражающих электромагнитную энергию и ограничение пребывания в зоне рабочего места работающего генератора.

Электрическое поле промышленной частоты (ЭП ПЧ)

ЭП ПЧ создаётся в рабочей зоне вследствие работы высоковольтного трансформатора.

В результате длительного воздействия электрического поля на организм человека могут развиваться нарушения в деятельности сердечно-сосудистой и центральной нервной системы (ЦНС), органов дыхания и пищеварения, возможно изменение состава крови и др. Нормативно установленный уровень напряженности воздействующего ЭП составляет 25 кВ/м. Если величина напряженности ЭП более 25 кВ/м, то пребывание в этой зоне без применения средств защиты не допускается [41].

Мероприятия по коллективной защите от влияния электрического поля промышленной частоты являются конструктивные, переносные, специализированные экранирующие устройства, которые должны быть покрыты антикоррозионным средством и заземлены.

Метеорологические условия

Микроклимат производственных помещений и рабочей зоны должен не зависеть от состояния природных метеорологических факторов, и формировать подходящие климатические условия, безопасные для персонала и наиболее благоприятные для выполнения работ.

Данный проект по экспериментальному ЭИ бурению относится к работе средней тяжести (категория IIa), нормативные величины показателей метеорологических условий в рабочих зонах должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 25.

Таблица 25 – Допустимые величины показателей микроклимата [42].

Период года	Категория Работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для температур воздуха ниже оптимальных величин	для температур воздуха выше оптимальных величин
Холодный	IIa (175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
Теплый	IIa (175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75	0,1	0,4

Для поддержания допустимых величины показателей климатических условий рабочей зоны необходимо конструирование специальных технического помещения.

В холодный период года следует применять средства индивидуальной защиты на рабочем месте от охлаждения, в теплый период от попадания прямых солнечных лучей.

Освещение

Свет предоставляет благоприятные условия для жизни человека, необходимые для сохранения здоровья и высокой производительности труда, и является основным анализатором в зрительной работе.

Совмещенное освещение применяется на испытательной площадке, когда естественное освещение не в силу обеспечить благоприятные условия для реализации производственных работ, в помощь используют искусственное.

Естественное освещение создается природными источниками света солнечными лучами и светом небосвода, проникающим через боковые светопроемы (окна) в наружных стенах.

Искусственное освещение в рабочей зоне осуществляется люминисцентными лампами, находящиеся на стенах помещения на уровне около девяти метров.

Люминисцентные лампы в основном имеют прямое светораспределение. Меры по защите от прямой блескости являются защитный угол, экранирующие решетки, рассеиватели из прозрачной пластмассы или стекла.

Необходимые уровни освещенности составляют 500-750 лк (люкс) [43].

5.2. Анализ опасных факторов производственной среды

Электрический ток

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, с активными частями электрооборудования и электроустановки, где наблюдается напряжение способное вызвать протекание тока по попавшей части тела.

В отсутствии специализированных средств, человек не способен установить наличие электрического тока, собственно, что и обуславливает большой риск поражения электрическим током при прикосновении к токоведущим частям. Величина чувствительная для человеческого организма при протекании тока составляет более 1мА и 0,8 В [44].

В процессе протекании электрического тока через организм человека, наблюдается различные воздействия: термические, биологические, электролитические, химические и механические повреждения.

Термическое воздействие тока выражается ожогами отдельных участков тела, почернением и обугливанием кожи; нагревом до значительной температуры органов, находящихся на пути протекания тока.

Электролитическое воздействие тока обуславливается разложением жидкостей организма на ионы, нарушающие их состава.

Химическое влияние тока выражается в появлении химических реакций в крови, лимфе, с возникновением новых веществ, не свойственных организму.

Биологическое воздействие оказывает раздражение и возбуждение живых тканей организма, появлению судорог, остановке дыхания, изменению режима сердечной деятельности

Механическое воздействие тока проявляется в сильном сокращении мышц, вплоть до их разрыва, переломе костей, расслоении тканей.

Находящаяся вокруг среда (влажность, температура, присутствие заземленных металлических систем) оказывает вспомогательное воздействие на условия электробезопасности.

Вероятность поражения электрическим током находится в зависимости от плотности и площади прикосновения человека с токоведущими частями.

Для обеспечения электробезопасности в условиях нормального режима работы установок применяются следующие средства защиты:

- применение всевозможных измерительных приборов;
- ограждение токоведущих частей;
- изоляция электрооборудования и электроустановок;
- индивидуальные средства защиты (основные и дополнительные).

На испытательной площадке рабочая зона относится к классу помещений без повышенной опасности.

Пожаровзрывобезопасность

Инструкция по пожаровзрывной безопасности на производственных участках закрытой испытательной площадке предусматривает основные противопожарные требования обязательные при проведении пожароопасных работ (окрасочные работы, работа с баллонами, газосварочные работы, электросварочные работы, резка металла, паяльные работы) [45].

Обязанности по обеспечению мер пожарной и взрывной безопасности в процессе пожаровзрывных работ возлагается на управляющего подразделения, на территории которого ведутся производственные работы.

Основные причины возникновения пожара и взрыва:

Воспламенение изоляции электрических проводов, генератора, трансформаторов, в результате длительного воздействия повышенной нагрузки, короткого замыкания или аварийных ситуаций. Образование взрыва в результате не правильной работы с баллонами и редукторами соединительных шлангов.

Мероприятия по предотвращению возникновения пожара:

Перед началом технологического процесса необходимо проверить:

- наличие работы способности электрооборудования и электроустановок;
- исправность системы подачи рабочего газа;
- контроль датчиков температуры и давления;
- правильность подключения силовых разъемов питающих проводов;
- исправность системы заземления.

5.3 Региональная безопасность

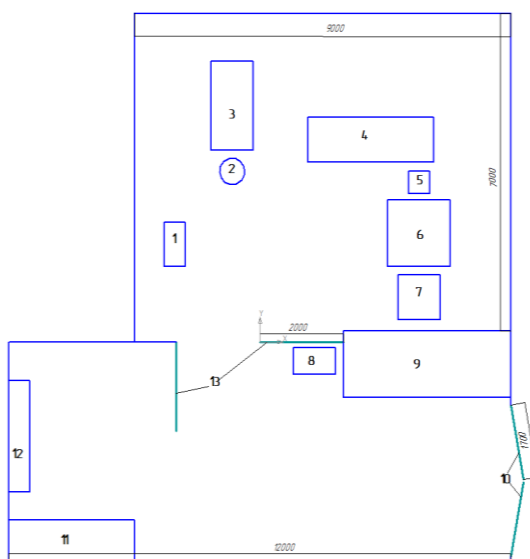
В результате эксплуатации ЭИ буровой установки для промывания раздробленной фракции с забоя используется деионизованная вода, которая сама по себе является очень чистой жидкостью, вследствие этого загрязнения почвы и грунтовых вод не происходит.

В процессе работы ЭИ буровой установки использоваться защитные средства, описанные в пункте 1.1. и 1.2.

5.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Расположение и компоновка рабочей зоны

Обстановка рабочей зоны представлена на рисунке 1.



- 1 - насос; 2 - буровая установка; 3 - шламоборочный контейнера с водой; 4 - высоковольтный генератор импульсов; 5 - малый защитный дроссель; 6 -

высоковольтный трансформатор; 7 - большой защитный дроссель; 8 - пульт управления установкой; 9 - отсек для хранения предметов; 10 - большие гаражные ворота; 11 - стеллаж с деталями; 12 - шкаф с инструментами; 13 - решётчатые ворота.

Рисунок 27 – Обстановка рабочей зоны

Геометрические характеристики рабочей зоны, и размещение элементов установки соответствуют требованиям [46,47].

В ходе работы предусмотрены технологические перерывы. Также в полном распоряжении рабочих, имеется комната психологической разгрузки, оборудованная чайником, микроволновкой и холодильником.

В процессе приёма на работу нового научно-технического работника в обязательном порядке осуществляется вводный инструктаж по охране труда и пожарной безопасности, а также ознакомление со своей должностной инструкцией. В связи со своей деятельностью научно-технический персонал проходит повторные инструктажи по ТБ и ОТ с периодичностью 1 раз в 6 месяцев. Помимо этого сотрудник изучает инструктажи при изменении технологического процесса, замене или модернизации электрооборудования, приборов и инструментов, исходного сырья, материалов.

5.5 Особенности законодательного регулирования проектных решений

В лаборатории запрещается привлечения к производственным работам лиц, не достигших совершеннолетия. Рабочие зоны с вредными и (или) опасными факторами не наблюдаются. Привлечение оперирующего персонала к производственным работам в ночное время суток не производится. Оснащение рабочей формой и СИЗ. Бесплатное питание и особое лечебно-профилактические услуги отсутствуют. Особенности обязательного социального страхования и пенсионного обслуживания стандартные.

5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Из числа допустимых ЧС наиболее потенциальными является возникновение пожара и взрыва. Пожар может возникнуть из-за неисправности работы электрооборудования и электроустановок. Взрыв может произойти вследствие не правильной эксплуатации баллонов и редукторов, соединительных шлангов.

Рабочий периметр испытательной площадке имеет категорию «Д» [48].

Для предотвращения образования пожара и взрыва прибегают к следующим действиям: проверка операционного персонала на предмет знаний пожаровзрывной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами и нормами, плановый осмотр установок [49].

ЭИ буровая установка находится в устойчивом состоянии по отношению к пожару и взрыву, т.к., система заземления находится в надёжном закреплении, перед эксплуатацией установки производится осмотр и проверочный запуск, так же производится осмотр системы подачи рабочего газа, баллонов и редукторов.

При возникновении пожаровзрывной ситуации, определён следующий алгоритм действий:

- Вызов специальной службы;
- Отключение от сети питания электроустановок и электрооборудования;
- Изоляция всей системы подачи рабочего газа и баллонов;
- Организовать эвакуацию из рабочей зоны и оперативно приступить к ликвидации очага пожара первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ОУ-5-ВСЕ, пожарный рукав, бак с песком). При невозможности покинуть опасную зону.

Заключение

В процессе выполнения научно-исследовательской работы были рассчитаны количественные значения элементов генератора: значения коэффициентов использования разрядной схемы и волны; ёмкость конденсатора, основываясь на этом значении, был подобран импульсный конденсатора с ёмкостью 0,35 мкФ и рабочим напряжением 100 кВ, количество ступеней 12 в конструкции генератора, ударная ёмкость 29,17 пФ, максимальная энергия 5,25 кДж, фронтовое и разрядное сопротивления, а так же рассчитана геометрия разрядного канала под не стандартные конфигурации электродов и спроектирована конструкция газонаполненных разрядников.

Проведен опыт холостого хода и короткого замыкания, из расчётов которых были найдены следующие параметры генератора: индуктивность разрядного контура и паразитная ёмкость, а так же волновое сопротивление и максимальные значения тока и напряжения при давлении в разрядных промежутках 3,8 атмосфер.

Генератор импульсного напряжения проектировался для электроимпульсного бурения горных пород и мёрзлых грунтов по заказу компании из Швейцарии.

Список используемых источников

1. Важов В.Ф. Развитие научно-технологических основ электроимпульсного бурения и резания горных пород / дисс... докт. техн. наук. – Томск, 2014. – 189 с.
2. Аркадьев В. К., Генератор молний, «Электричество», № 10, 1940.
3. Магх Е., Deutsches Rechspatent № 455933, 1923.
4. Смирнов С.М., Терентьев П.В. Генератор импульсов высокого напряжения. – М.-Л.: Энергия, 1964. – 239 с.
5. Генератор импульсного напряжения: патент Рос. Федерация № 2317637; заявл. 11.07.06; опубл. 20.02.08, Бюл. № 5.
6. Импульсный генератор высокого напряжения: патент Рос. Федерация № 2155443; заявл. 18.06.96; опубл. 27.08.2000, Бюл. № 24.
7. Герасимов А.И., Федоткин А.С., Зенков Д.И. и др. Надежный экранированный генератор Аркадьева-Маркса на 500 кВ и 6,25 кДж со стабильным временем задержки срабатывания // ПТЭ.- 1998.- №1.- С.96-101.
8. Генератор Аркадьева-Маркса: патент Рос. Федерация № 2576383; заявл. 24.06.14; опубл. 27.12.15, Бюл. № 36.
9. Генератор импульсов напряжения: патент Рос. Федерация № 2091980; заявл. 21.04.95; опубл. 27.09.97.
10. Пичугина М.Т. Мощная импульсная энергетика. - Томск: Изд- во ТПУ, 2005. - 98 с.
11. Месяц Г.А. Насибов А.С. Кремнев В.В. Формирование наносекундных импульсов высокого напряжения, М. Энергия, 1970, с. 41.
12. Генератор импульсов напряжения: патент Рос. Федерация № 2090020; заявл. 08.04.94; опубл. 10.09.97.
13. Гончаренко Г.М., Дмоховская Л.Ф., Жаков Е.М. Испытательные установки и измерительные устройства в лабораториях высокого напряжения. - М.: МЭИ, 1966. – 159 с

14. Конденсаторы импульсные / ОАО "Серпуховский Конденсаторный завод «КВАР»". – Электрон. дан. URL: <http://kvar.su/kondensatory-impulsnye/>. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
15. Трансформатор-выпрямитель / ОАО «Электрозавод». – Электрон. дан. URL: <http://www.elektrozavod.ru/production>. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
16. Изоляторы опорно-стержневые / "Электрофарфор 2000". – Электрон. дан. URL: <http://elfarfor.com.ua/izolyatory/farforovye-izolyatory/farforovye-oporno-sterzhnevye-ios.html>. – Загл. с экрана.— Яз. рус.
17. Дельта-древесина / Лесовед. – Электрон. дан. URL: http://lesoved.pro/stanki/deltadrevesina_marki_fanery_bekelitovoi_ee_harakteristiki_i_sfery_primeneniya_chno_soboi_predstavlyaet_fanera.php, – Загл. с экрана. – Яз. рус.
18. Трубы из полипропилена PP-R напорные PN20 / АрмНефтеГаз (ЭнергоСтройСервис). – Электрон. дан. URL: <http://santehroomekspert.uaprom.net/p12251606-ppr-fado-truba.html>, – Загл. с экрана. – Яз. рус.
19. Справочник по электротехническим материалам: В 3 т. Т. 1/Под ред. Ю. В. Корицкого и др.—3-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1986.—368 с.: ил.
20. Справочник по электротехническим материалам: В 3 т. Т. 2/Под ред. Ю. В. Корицкого и др.—3-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1987.— 464 с.: ил.
21. Справочник по электротехническим материалам/Под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. – Т. 3. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 728 с.
22. Марки стали и сплавы / Центральный металлический портал РФ. Электрон. дан. URL: http://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/12X18H10Tсвободный. – Загл. с экрана.— Яз. рус.
23. Гохберг Б. М., Электричество, №3, 15-19, 1947.

- 24.ГОСТ 9293-74. Азот газообразный и жидкий. Технические условия. - М.: Стандартиформ, 2007. – 16 с.
25. Леонтьев Ю.Н. Высоковольтные испытательные и электрофизические установки. Высоковольтные измерения. - Томск. ТПУ, 1993 г.–93 с.
- 26.Учебное пособие по курсу "Испытательные и электрофизические установки, техника эксперимента": Генераторы импульсных напряжений / В. А. Авруцкий, В. Я. Киселев, И. П. Кужекин ; Ред. И. П. Кужекин. - М.: МЭИ, 1980. – 58с.
- 27.Справочник по электротехническим материалам. В 3 т. Под. Ред. Ю. В. Корицкого и др. Т. 1. Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1974.
- 28.ГОСТ 17512 – 82. Электрооборудование и электроустановки на напряжения 3 кВ и выше. Методы измерения при испытаниях высоким напряжением. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 23 с.
29. Лавринович В.А. Высоковольтные испытательные установки и измерения: учебное пособие по лабораторным работам / В. А. Лавринович. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 50
- 30.Могильницкая Г.О., Никулина И.Е.. Менеджмент: Методические указания по подготовке и защите выпускной квалификационной работы для студентов специальностей 080502 «Экономика и управление на предприятии (по отраслям)» и 080507 «Менеджмент организации». - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. - 28 с.
- 31.Пястолов С.М. Экономический анализ деятельности предприятий учеб. пособие для вузов. – М.: Академ. проект, 2004. – 576 с.
32. Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Шаповалова Н.В.. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. –Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 73 с.
- 33.Попова С.Н.. Управление проектами.– Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 121 с.
34. Карпунина М.Г.,Майданчика Б.И.. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие. – М: 1980. – 175 с.

35. Финансовый менеджмент учебник под ред. Г.Б. Поляка. – М.: ЮНИТИ, 2004. – 526 с.
36. Шеремет А.Д., Финансы предприятий: менеджмент и анализ учеб. пособие для вузов, МГУ, Эконом. факультет. - М.: Инфра-М, 2004. – 537 с.
37. Экономика предприятия учебник под ред. В.Я. Горфинкеля, В.А. Швандара. – М.: ЮНИТИ, 2007. – 671 с.
38. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. – М.: Минздрав России, 1996 г. № 36.
39. СН 2.2.4/2.1.8.566. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. - М.: Минздрав России, 1997. № 40.
40. ГОСТ 12.1.006–84 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.
41. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 7с.
42. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Госкомсанэпиднадзора России, 1996 г., N 21.
43. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение в зависимости от точности выполняемых производственных операций, световых свойств рабочей поверхности и рассматриваемой детали, системы освещения. – М.: Минстроя России, 1995 г. № 18-78.
44. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 7 с.
45. ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 7 с.

46. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.
47. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 15 с.
48. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» АО "Кодекс". 2015. – 98 с.
49. ППБ 01–03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перевод главы 2 на немецкий язык

Berechnungen im Entwicklungsteil

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ41	Князев Станислав Александрович		

Консультант кафедры ВЭСЭ:

Должность	Ф.И.О.	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ВЭСЭ ИФВТ	Карнаухова А.А.	к.ф.-м.н.		

Консультант - лингвист кафедры ИМОЯК:

Должность	Ф.И.О.	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Прохорец Елена Константиновна	к.п.н., доцент		

3 Berechnungen im Entwicklungsteil

3.1 Die Berechnung der Hauptparameter des Schemas GIN

In der gegebenen Abteilung muss man die Hauptparameter des Generators der Hochspannungsimpulse nach dem Schema von Arkadjew-Marx gesammelt rechnen. Der Generator wird verwendet, um den Hochspannungsimpulsentladung zu erzeugen, der ein Arbeitswerkzeug in der Elektroimpulsverfahren der Zerstörung von Steinen und Erzen ist.

Die Berechnung der Parameter des Ersatzschaltbildes GIN, das darstellende Regime der Entladungen, es ist zweckmässig, für den allgemeinen Fall durchzuführen. Da zu werden wir das Schema vorgestellt auf der Abbildung 3, in die ausnutzen C_1 – Die Kapazität des Generators; R_1 – Der Kombinationswiderstand ohmscher Widerstand die elektrischer Kreis GIN; C_2 – Die Summe der Kapazität des Objektes, der parasitischen Kapazität GIN; L_1 – Der Selbstinduktivität der Elemente GIN und der Schlinge des Anschließens des Objektes zu GIN.

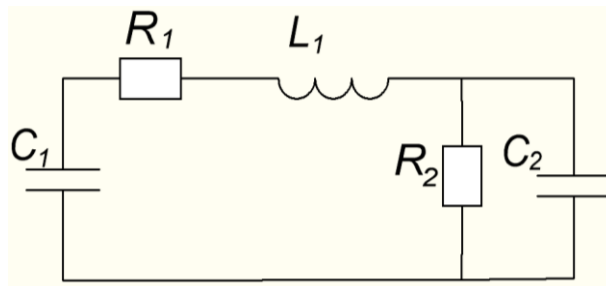


Abbildung 18 – Das Ersatzschaltbild der Entladekreis

Wir werden die Rückberechnung erzeugen, um die Zahl der Stufen des Generators und die Kapazität der Kondensatoren für das Laden zu finden. In unserem der Fälle, als Belastung tritt Bohrerschneide auf, die in der Abschlachtung der Spalte in der umgebenden flüssigeuedium entionisiertes Wasser. Die Bohrspitze stellt das System der Hochspannungs- und Niederspannungselektroden Schuh des Typs, mit der etwa identischen Größe der Abstände zwischen unterschiedliche Polaritäten von den Elektroden dar.

3.2 Die Berechnung der Lastkapazität

Die Berechnung der Lastkapazität kann man nach der nächsten Formel erfüllen:

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S_{\text{allgemein}}}{d} \cdot n, \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{8,854 \times 10^{-12} \cdot 81 \cdot 1,462 \times 10^{-3}}{38 \times 10^{-3}} \cdot 24 = 6,62 \times 10^{-10} \text{ F}$$

wo ε_0 – elektrische Feldkonstante, F/m;

ε – elektrische Durchlässigkeit;

d – die Entfernung zwischen den Elektroden, m;

n – die Anzahl der Entladungsspalte zwischen den Elektroden unterschiedlicher Polaritäten

$S_{\text{allgemein}}$ – die Summe der Flächen der Elektrode, m²:

$$S_{\text{allgemein}} = S_{\text{Elektrode}} + S_{\text{FußflanschSlipper}}, \quad (2)$$

$$S_{\text{allgemein}} = 3,142 \times 10^{-4} + 1,148 \times 10^{-3} = 1,462 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

wo $S_{\text{Elektrode}}$ – die Querschnittsfläche der Elektrode;

$$S_{\text{Elektrode}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (3)$$

$$S_{\text{Elektrode}} = \frac{3,14 \cdot (20 \times 10^{-3})^2}{4} = 3,142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

wo D – der Durchmesser der Elektrode, m;

$S_{\text{FußflanschSlipper}}$ – die Grundfläche des Schuhs der Elektrode

$$S_{\text{FußflanschSlipper}} = a \cdot b, \quad (4)$$

$$S_{\text{FußflanschSlipper}} = 14 \times 10^{-3} \cdot 82 \times 10^{-3} = 1,148 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

wo a – die Breite der Gründung des Schuhs der Elektrode, m;

b – die Länge der Gründung des Schuhs der Elektrode, m.

Die gemachten Berechnungen analysierend ist man möglich, verstehen, dass die Lastkapazität bildet $6,62 \times 10^{-10} \text{ F}$.

3.3 Die Bestimmung der maximalen Bedeutung des Nutzfaktors des Entladungsschemas und ständig der Zeit der Aussteller

Maximal die Bedeutungen des Nutzfaktors des Entladungsschemas befindet sich in der Abhängigkeit nur vom Verhältnis C_2 und C_1 . Den Koeffizienten des Schemas kann man auf folgende Weise äußern:

$$\eta_{\text{Netzwerk}} = \frac{1}{2 \cdot \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)} \pm \sqrt{\left[\frac{1}{\left(2 + \frac{C_2}{C_1}\right)}\right]^2 - \frac{T_2}{T_1 \cdot \frac{C_2}{C_1}}} = \frac{1}{2 \cdot (1+x)} \pm \sqrt{\left[\frac{1}{(2+x)}\right]^2 - \frac{T_2}{T_1 \cdot x}} \quad (5)$$

wo x – Korrelation C_2 / C_1 ;

T_1 und T_2 – Ständig der Zeit.

Ständig der Zeit T_1 und T_2 , klären sich nach den Formeln:

$$T_1 = \tau_i / 0,69 = 5 \times 10^{-6} / 0,69 = 7,246 \times 10^{-5} \text{s} \quad (6)$$

$$T_2 = \tau_f / 3,25 = 0,15 \times 10^{-6} / 3,25 = 4,615 \times 10^{-8} \text{s} \quad (7)$$

wo τ_i – die Impulsdauer;

τ_f – die Dauer der Front des Impulses.

Der Rechenkoeffizient des Entladungsschemas des Generators soll nicht weniger 0,9 von maximal möglich für die aufgegebenen Parameter des Impulses sein.

Die minimale und maximale Bedeutung der Beziehung C_2/C_1 ist im Intervall von 0,002 bis zu 0,28 mit dem Schritt der Veränderung gleich 0,0001 aufgegeben



Abbildung 19 – Die Größe des Koeffizienten des Schemas im Umfang 0,002–0,28

In mehrst die Reihe der Fälle bei der Berechnung des Generators wird die Möglichkeit ausgeschlossen, die maximale Bedeutung des Nutzfaktors des Schemas des Generators zu verwenden. Es ist damit verbunden, dass es genug schwierig ist, die parasitische Kapazität des Generators zu bestimmen, die notwendige Kapazität der Kondensatoren aus der breiten Auswahl ausgegeben von der Industrie auszuwählen. Infolge seiner, protzt die minimal zulässige Abweichung des Nutzfaktors des Schemas von der maximalen Bedeutung und es wird das zulässige Intervall der Veränderung der Beziehung der Kapazitäten des Generators und der Belastung ernannt.

$$\eta_{\text{Netzwerk}}^{\min} = 0,9 \cdot \eta_{\text{Netzwerk}}^{\max} = 0,9 \cdot 0,948 = 0,853 \quad (8)$$

Die Beziehung der Kapazitäten C_2/C_1 ist getauscht, so damit η_{Netzwerk} war weniger minimal nicht.

Die minimale und maximale Beziehung der Kapazitäten $(C_2/C_1)^{\min} = 0,0053$ und $(C_2/C_1)^{\max} = 0,1647$.

Aus der Analyse der Abbildung 19 ist es sichtbar, dass maximal die mögliche Bedeutung des Koeffizienten $\eta_{\text{Netzwerk}}^{\max} = 0,948$ bildet. Von diesem Punkt опушённый führt die Senkrechte die Bedeutungen der optimalen Beziehung der Kapazitäten $C_2/C_1^{\text{opt}} = 0,0261$ vor.

3.4 Die Berechnung des Nutzfaktors des Impulses der Anstrengung und der zulässigen Grenzen der Veränderung des Verhältnisses C_2/C_1

Die Berechnung des Nutzfaktors des Impulses wird nach der Formelgeführt:

$$\eta_{\text{Wellenstirn}} = e^{-\frac{P_1 \ln(P_2/P_1)}{P_2 - P_1}} - e^{-\frac{P_2 \ln(P_2/P_1)}{P_2 - P_1}} \quad (9)$$

wo P_1 und P_2 – die Wurzeln der charakteristischen Angleichung.

Die Wurzeln der charakteristischen Angleichung befinden sich nach den Formeln:

$$P_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{7,246 \times 10^{-5}} = 1,38 \times 10^4 \text{ s}^{-1} \quad (10)$$

$$P_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{4,615 \times 10^{-8}} = 2,167 \times 10^7 \text{ s}^{-1} \quad (11)$$

Die bekommenen Bedeutungen ist in die Formel (9) ersetzt und wir finden den Koeffizienten der Welle.

$$\eta_{\text{Wellenstirn}} = e^{-\frac{1,38 \times 10^4 \ln \left[\frac{2,167 \times 10^7}{1,38 \times 10^4} \right]}{2,167 \times 10^7 - 1,38 \times 10^4}} - e^{-\frac{2,167 \times 10^7 \ln \left[\frac{2,167 \times 10^7}{1,38 \times 10^4} \right]}{2,167 \times 10^7 - 1,38 \times 10^4}} = 0,995$$

So ist der Nutzfaktor der Welle 0,995 gleich.

3.5 Die Berechnung der Hauptparameter des Entladungsschemas des Generators der Impulse

Nach der Bestimmung maximal die Bedeutung der Nutzfaktoren des Impulses des Entladungsschemas ist die Berechnung der Hauptparameter des Generators begonnen.

Die Abgabeeanstrengung des Impulsgenerators klärt sich nach der Formel:

$$U_{\text{Abgang}} = 0,9 \cdot n \cdot \eta_{\text{Netzwerk}} \cdot \eta_{\text{Wellenstirn}} \cdot U_{\text{Ladung}} \quad (12)$$

wo η_{Netzwerk} – der Koeffizient des Schemas

$\eta_{\text{Wellenstirn}}$ – der Durchlaßgrad der Welle;

n – die Zahl der Stufen des Generators;

U_{Ladung} – Ladungsspannung, kV.

Transforming die Formel (12) bestimmen wir die Zahl der Stufen des Generators:

$$n = \frac{U_{\text{Abgang}}}{0,9 \cdot \eta_{\text{Netzwerk}} \cdot \eta_{\text{Wellenstirn}} \cdot U_{\text{Ladung}}} = \frac{600 \times 10^3}{0,9 \cdot 0,948 \cdot 0,995 \cdot 50 \times 10^3} = 11,783 \quad (13)$$

Da die Zahl der Stufen bruch- nicht sein kann, runden wir bis zur nächsten ganzen Bedeutung ab, ist 12 übernommen.

Aus der gemachten Berechnung die Bedeutung der optimalen Beziehung der Kapazitäten verwendend kann man die Stosskapazität des Generators bestimmen.

$$\frac{C_2}{C_1} = 0,0261 \rightarrow C_1 = \frac{C_2}{0,0261} = \frac{6,62 \times 10^{-10}}{0,0261} = 2,536 \times 10^{-8} \text{ F} \quad (14)$$

wo C_1 – die Stosskapazität des Generators

C_2 – die Lastkapazität.

Die notwendige Kapazität des Kondensators befindet sich auf folgende Weise:

$$C_3 = C_1 \cdot n = 2,536 \times 10^{-8} \cdot 12 = 3,044 \times 10^{-7} \text{ F} = 0,304 \text{ } \mu\text{F} \quad (15)$$

Auf der bekommenen Bedeutung der Rechenkapazität gegründet worden, ist der herankommende Kondensator als IK-100-0,35 gewählt.

Mit dem gewählten Kondensator ist die Stosskapazität des Generators gerechnet.

$$C_4 = \frac{C_3}{n} = \frac{0,35 \times 10^{-6}}{12} = 29,17 \times 10^{-9} \text{ F} \quad (16)$$

Die Berechnung der Beziehung C_2/C_1 mit der neuen Bedeutung der Stosskapazität des Generators.

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{6,62 \times 10^{-10}}{29,17 \times 10^{-9}} = 0,023$$

Wir bestimmen, ob gerade erst die berechnete Beziehung C_2/C_1 ins Intervall von der minimalen Beziehung der Kapazitäten bis zur maximalen Beziehung der Kapazitäten eingeht.

$$(C_2/C_1)^{\min} > C_2/C_1 > (C_2/C_1)^{\max} = 0,0053 > 0,023 > 0,1647 \quad (17)$$

Die Bedingung (17) ist rechtmäßig, deshalb wir übernehmen die Zahl der Stufen des Generators 12 und die Entladungskapazität $29,17 \times 10^{-9} \text{ F}$

Wir finden den Rechenkoeffizienten des Schemas nach der Formel (5), der niedriger 0,9 von maximal nicht sein soll:

$$\eta_{\text{Netzwerk}}^{\text{berechnet}} = \frac{1}{2 \cdot (1 + 0,023)} + \sqrt{\left[\frac{1}{2 \cdot (1 + 0,023)} \right]^2 - \frac{4,615 \times 10^{-8}}{7,246 \times 10^{-5} \cdot 0,023}} = 0,948$$

Diese Bedeutung entspricht der Forderung vollkommen.

Wir bestimmen die Bedeutung der Abgabeeanstrengung mit dem berechneten Koeffizienten des Entladungsschemas.

$$U_{\text{Abgang}} = 0,9 \cdot n \cdot \eta_{\text{Netzwerk}}^{\text{berechnet}} \cdot \eta_{\text{Wellenstim}} \cdot U_{\text{Ladung}} \quad (18)$$

$$U_{\text{Abgang}} = 0,9 \cdot 12 \cdot 0,948 \cdot 0,995 \cdot 50 \times 10^3 = 611,2 \text{ kV}$$

Wir bestimmen die Front- und Entladungswiderstände.

Der Frontwiderstand R_f (R_1):

$$R_f = \frac{\tau_f}{3,25 \cdot C_2 \cdot \eta_{\text{Netzwerk}}^{\text{berechnet}}} = \frac{0,15 \times 10^{-6}}{3,25 \cdot 6,62 \times 10^{-10} \cdot 0,948} = 73,528 \text{ OM} \quad (19)$$

Der Entladungswiderstand R_p (R_2):

$$R_p = \frac{R_f \cdot \eta_{\text{Netzwerk}}^{\text{berechnet}} \cdot \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)}{1 - \eta_{\text{Netzwerk}}^{\text{berechnet}} \cdot \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)} = \frac{73,528 \cdot 0,948 \cdot (1 + 0,023)}{1 - 0,948 \cdot (1 + 0,023)} = 2,356 \times 10^3 \text{ OM} \quad (20)$$

Noch eine wichtige Charakteristik ist die maximale vom Generator versorgte Energie:

$$W_{\text{max}} = \frac{C_4 \cdot U_{\text{Abgang}}^2}{2}, \quad (21)$$

$$W_{\text{max}} = \frac{29,17 \times 10^{-9} \cdot (600 \times 10^3)^2}{2} = 5,25 \times 10^3 \text{ J}$$

wo C_4 – die Stosskapazität des Generators;

U_{Abgang} – die Abgabeeanstrengung des Generators.

3.6 Die Berechnung lade die Schemen

Die Frequenz des Folgens der Impulse und die maximale versorgte Energie wissend kann man die mittlere Macht des Ladegeräts bewerten.

Die Rechenleistung des Transformators:

$$P = \frac{W_{\max}}{f_{\text{imp}}} = \frac{5,25 \times 10^3}{10} = 525 \text{ W} \quad (22)$$

wo $W_{\max}$ –die maximale versorgte Energie vom Generator, J;

$f_{\text{имп}}$ –die Frequenz des Folgens der Impulse, imp/s.

Ausgehend von Ladegerät der Anstrengung und der berechneten Macht ist das Ladegerät als VTM-20/50 gewählt.

Im parallelen Schema der Vereinigung der Hochspannungskondensatoren sind die Spulen bestimmt, deren Größe der Induktivität sich nach der Formel befindet:

$$L_{\text{Ladespule}} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{N^2}{l} \cdot \frac{\pi \cdot D}{4} \quad (23)$$

$$L_{\text{Ladespule}} = 2,0 \times 10^2 \cdot 4\pi \times 10^{-7} \cdot \frac{85^2}{256 \times 10^{-3}} \cdot \frac{\pi \cdot 45 \times 10^{-3}}{4} = 11 \times 10^{-3} \text{ H}$$

wo μ_0 – magnetische Feldkonstante, H/m;

μ – Kernpermeabilität;

N – die Zahl der Windungen зарядной die Spulen;

l – die Länge der Spule, m;

D – der Durchmesser Lades die Spulen, m.

3.7 Die Berechnung der Geometrie des Entladungsabstandes

Auf der literarischen Quelle [27], ist die Anstrengung des Durchschlags bekommen, die 26,25 kV beim Druck des Arbeitsgases 10 atm für Funkendes Abstandes 1 mm bildet. Ausgehend davon, wir werden die Entfernung zwischen den Arbeitsoberflächen der Entlader für die bestimmten Parameter bestimmen.

$$U_1 = 26,25 \text{ kV}, S_1 = 1 \text{ mm}, U_{\text{Ladung}} = 50 \text{ kV}, S_2 = ?$$

$$\frac{U_1}{S_1} = \frac{U_{\text{Ladung}}}{S_2} \rightarrow S_2 = \frac{U_{\text{Ladung}} \cdot S_1}{U_1} = \frac{50 \cdot 1}{26,25} = 1,904 \text{ mm} \approx 1,9 \text{ mm} \quad (24)$$

Infolge der Ausführung der Berechnung, des Bestimmt entfernung Entladung Abstandes sterben, sterben, 1,9 mm beim Druck des Arbeitsgases 10 atm Ladegerät sterben und Anstrengung 50 kV zu Bilden.

3.8 Die Entwicklung des Typs und der Konfiguration der Elektroden

Für die stabile Arbeit der Entlader und der qualitativen Prozesse des Ladens und der Entspannung der Kondensatoren der Stufen des Generators, erscheint die Notwendigkeit in der richtigen Bestimmung der Konfiguration der Elektroden je nach der Entfernung Funke des Abstandes. Das System der Elektroden, die in gasgefüllten die Entlader verwendet werden, betrachtet in der gegebenen Abteilung kann man bestimmen, wie der Kern-Ebene, weil es der Durchmesser des Arbeitsdetails einer Elektrode D_1 in 2,5 Male als mehreren Durchmesser anderer D_2 gibt[28].

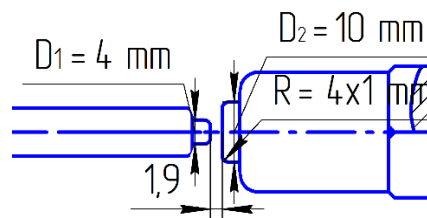


Abbildung 21 – Elektrodenstück

Das elektrische Feld des Entladungsabstandes des erwähnten Systems der Elektroden kann man leicht inhomogen halten. Es wird davon bestätigt, dass die zulässige Bedeutung der Beziehung der Entfernung des Entladungsabstandes S zum Durchmesser des Arbeitsdetails der Elektrode D 0,5 nicht übertritt.

$$S/D < 0,5 \quad (25)$$

$$S/D_2 < 0,5 \rightarrow 1,9 / 10 = 0,19 < 0,5$$

$$S/D_1 < 0,5 \rightarrow 1,9 / 4 = 0,475 < 0,5$$

Die Berechnung laut Vertrag über (25) führt vor, dass die eingehaltenen Bedingungen für jeden Durchmesser des Arbeitsdetails der Elektrode, das elektrische Feld quasihomogen insgesamt ist.

Damit und entsprechend auf die Größe пробивного die Anstrengungen die Gleichmäßigkeit des Feldes des Entladungsabstandes die umgebenden Elemente, die Entfernung von einem System der Elektroden bis zu anderem nicht beeinflussen, befindet sich laut Bedingung[29]:

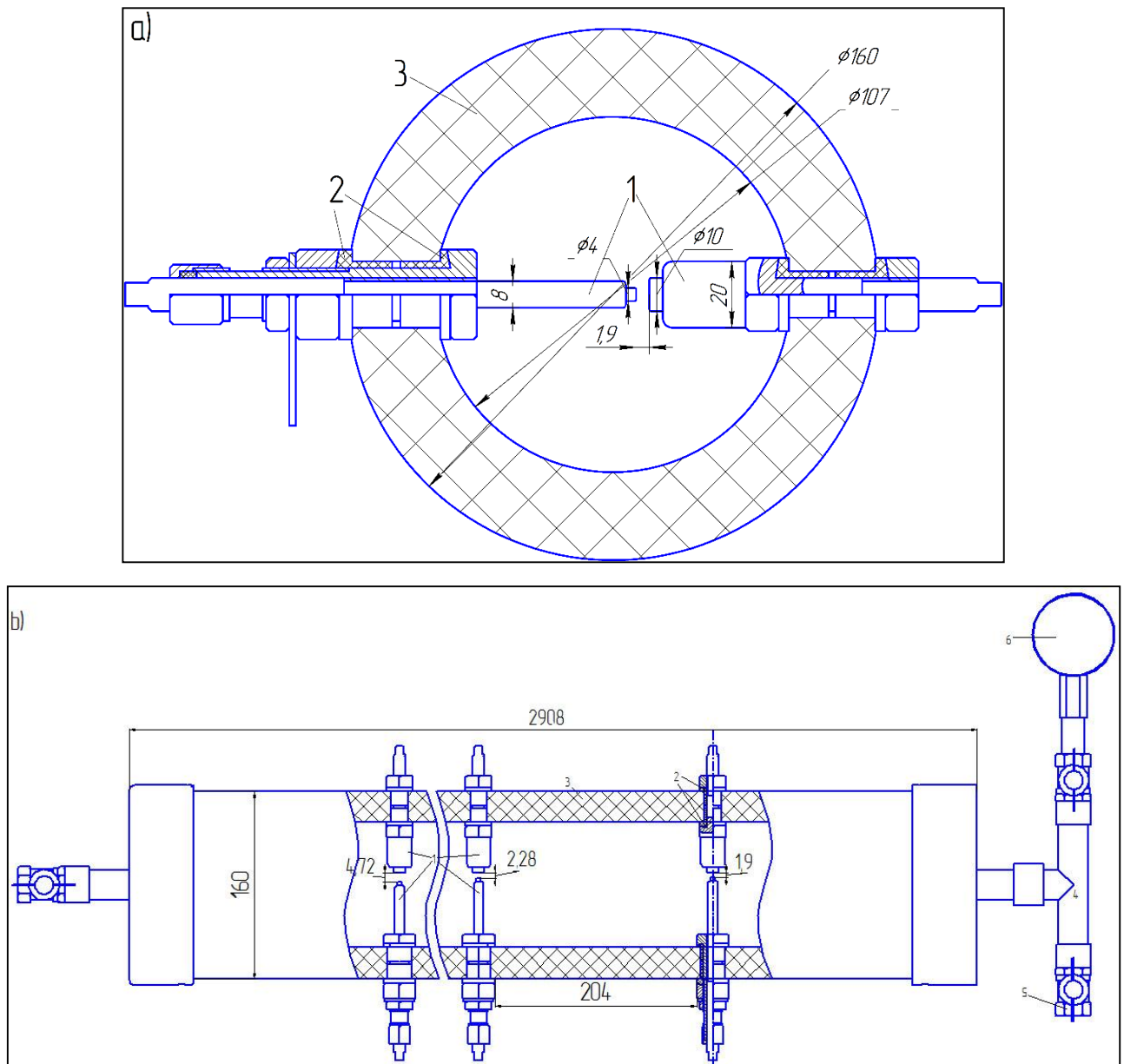
$$l \geq 7,5 \cdot D_3 = 7,5 \cdot 27 = 202,5 \text{ mm} \quad (26)$$

wo D_3 –der meiste Durchmesser des Systems der Elektroden/

Nach der erfüllten Bedingung bestimmt die Entfernung von der äusserlichen Seite der Elektroden, da Außenraum gasförmig Dielektrikum die Luft ist. Wegen der technologischen Gründe das bekommene Ergebnis haben bis zu 204 mm abgerundet.

3.9 Die Konstruktion gasgefüllten der Entlader

Die gasgefüllten Konstruktion der Entlader besteht aus zwölf Systemen der Elektroden mit der besonderen Konfiguration, die mit Hilfe der technologischen Operationen, im dielektrische Röhre gefüllt Isolations vom Gas unter dem Druck, das übertretende Atmosphärische gefestigt sind. Das Arbeitsgas wird ins System der Umschaltung durch den Kran und T-Formstück bis zu einem bestimmten Druck gereicht, die das Manometer registriert.



a) – die Zeichnung, die Frontansicht der Entlader, b) – die Zeichnung, die Draufsicht der Entlader.

1 – die Hochspannungsentlader; 2 – Dichtungen; 3 – dielektrische Röhre; 5 – der Kugelkran; 4 – T-Formstück; 6 – das Manometer.

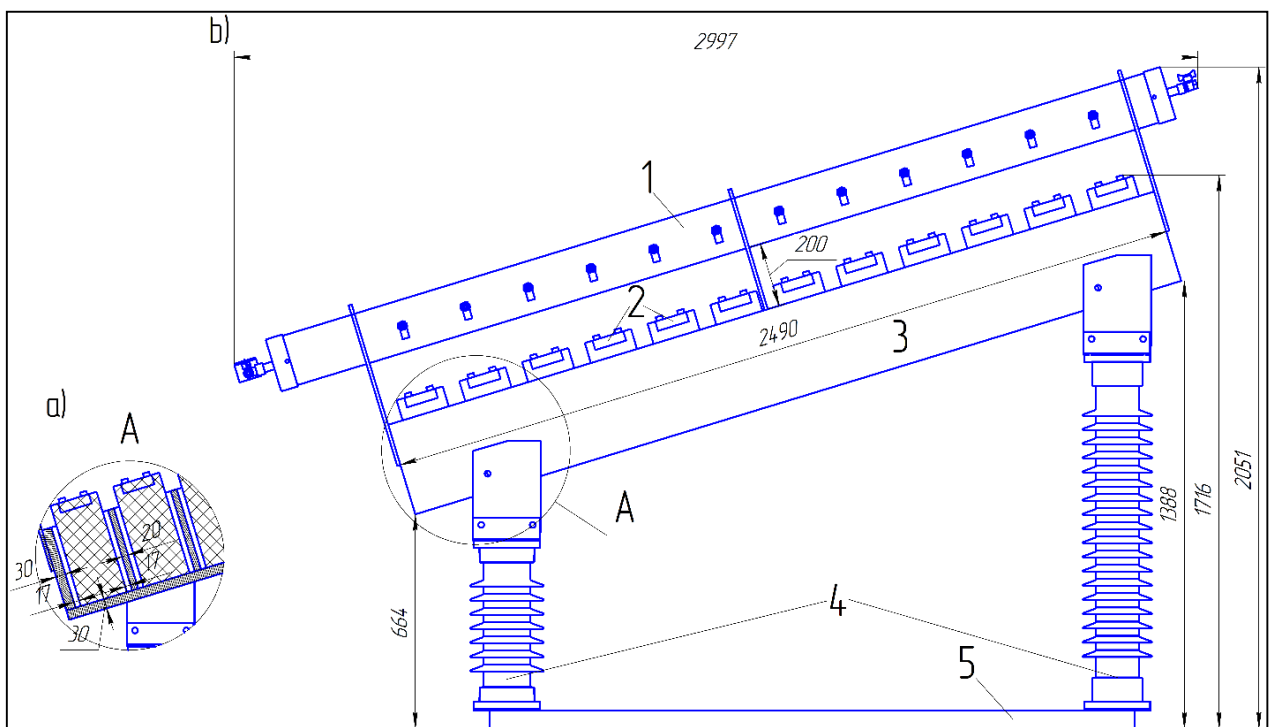
Abbildung 22 – die Konstruktion gasgefüllten der Entlader

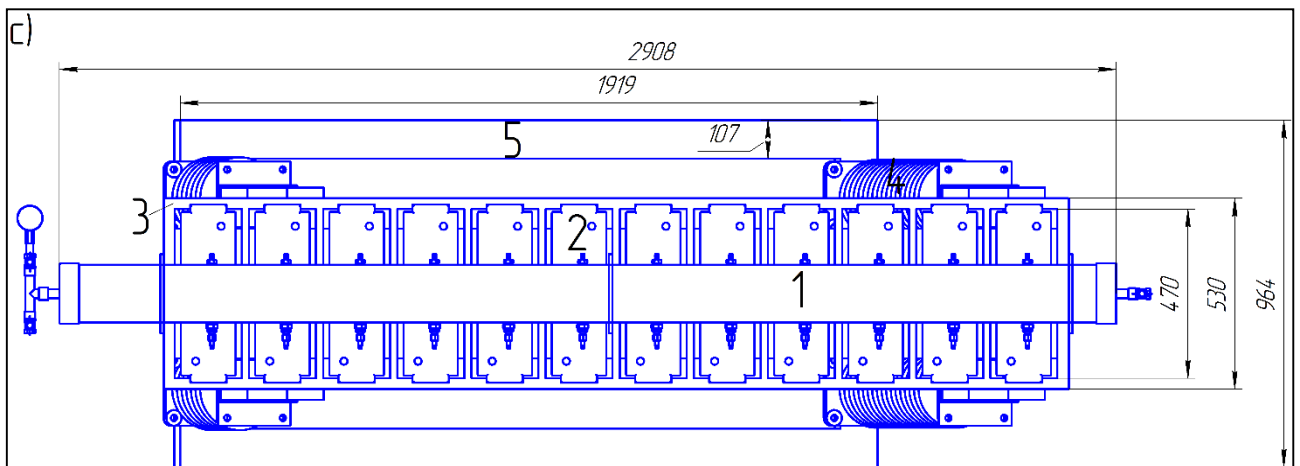
In der vorliegenden Konstruktion verfügt die Elektrode, die den kleineren Durchmesser hat über die Fähigkeit, sich in der drehenden-fortschreitenden Richtung zu bewegen. Die vorliegende Fähigkeit der Elektrode ist für die Regulierung der Geometrie des Entladungsabstandes notwendig, und andere Elektrode befindet sich im bewegungsunfähigen Zustand.

Eine Würde der Konstruktion ist die Isolierung vom Lärm und den ultravioletten Strahlen, die Verkleinerung des Entladungswiderstands und der Induktivität der Entladungskontur, die Senkung des Einflusses auf Durchbruchsspannungen.

3.10 Die Konstruktion des Generators der Impulsanstrengungen

Das Skelett der Generator besteht aus zwölf Stufen, in sich jedem deren nach dem elektrotechnischen Element befindet. Die tragende Konstruktion ist mit den Stützisolator bei der Hilfe Bolzen die Vereinigungen, der Winkel und der instationären Holzscheite hart gefestigt, und die Isolator sind auf dem eisernen Rahmen ohne Bewegung bestimmt. Entlang der zentralen Achse der tragenden Konstruktion des Generators mit Hilfe der hölzernen Halterungen, ist parallel den Kondensatoren, gasgefüllten die Konstruktion der Entlader bestimmt.





a) – das Fragment des Generators, b) – die Zeichnung, die Seitenansicht des Generators, c) – die Zeichnung, die Draufsicht des Generators.

1 – gasgefüllten die Konstruktion der Entlader; 2 – die Impulskondensatoren; 3 – das Skelett; 4 – die Stützisolator; 5 – der eiserne Rahmen.

Abbildung 23 – des Generators der Impulsanstrengungen

Die vorliegende Konstruktion verfügt über die große mechanische Haltbarkeit und die Immunität; von der Fassbarkeit der technischen Reparatur und der laufenden Beobachtung des Zustandes der Elemente, Modularität.

3.11 Die Experimente des Leerlaufs und ist die Schlüsse kurz

Nach dem Konstruieren des Generators, wird die folgende wichtige Etappe erfüllt, die in die Durchführung der Experimente des Leerlaufs und die Schlüsse kurz, beim Druck 3,8 atm des Arbeitsgases in den Entladungsabständen besteh.

Die obengenannten Experimente sind für die Bestimmung der Parameter des Generators notwendig.

Aus der Erfahrung des Leerlaufs kann man die folgenden Größen finden: die parasitische Kapazität des Generators C_p und die maximalen Bedeutungen der Anstrengung U_{HH} .

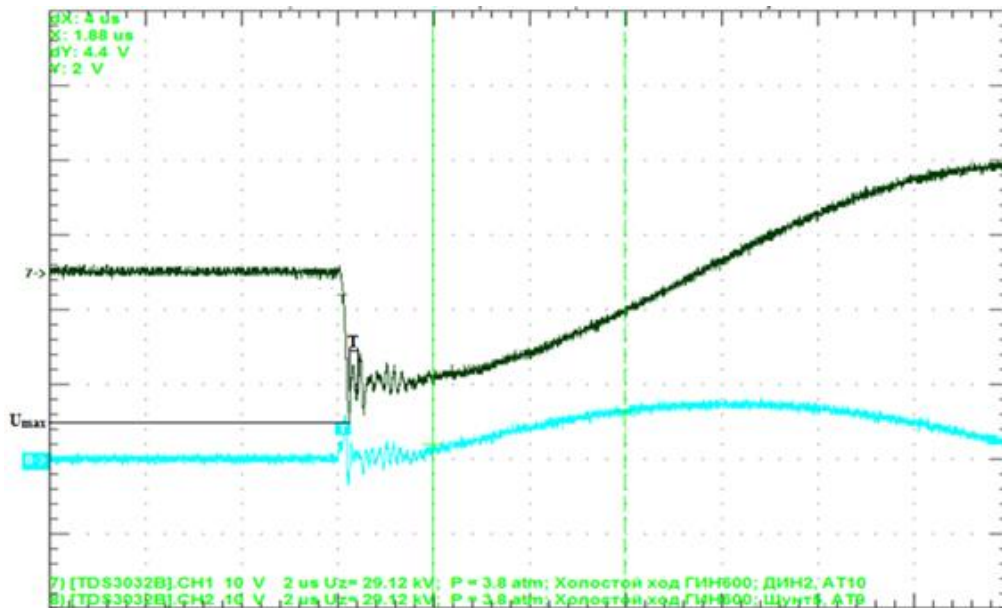


Abbildung 24 –Die Erfahrung des Leerlaufs

Die äquivalente parasitische Kapazität des Generators klärt sich aus der Periode des Leerlaufs:

$$T_{HH} \cong 2\pi\sqrt{L_p \cdot C_p}, \quad (27)$$

wo T_{HH} – der Periode des Leerlaufs, s;

L_p – die Induktivität der Entladungskontur, H;

C_p – die äquivalente parasitische Kapazität des Generators, F.

$$C_p = \frac{T_{HH}^2}{4\pi^2 L_p} = \frac{(170 \times 10^{-9})^2}{4\pi^2 \cdot 13,89 \cdot 10^{-6}} = 5,269 \times 10^{-11} \text{ F} = 52,69 \text{ pF}$$

Ausgehend von der Erfahrung die Schlüsse kurz mit Hilfe des Oszillogramms kann man solche Größen, wie die Induktivität der Entladungskontur L_p und die maximale Bedeutung des Stromes I_{KZ} bestimmen.

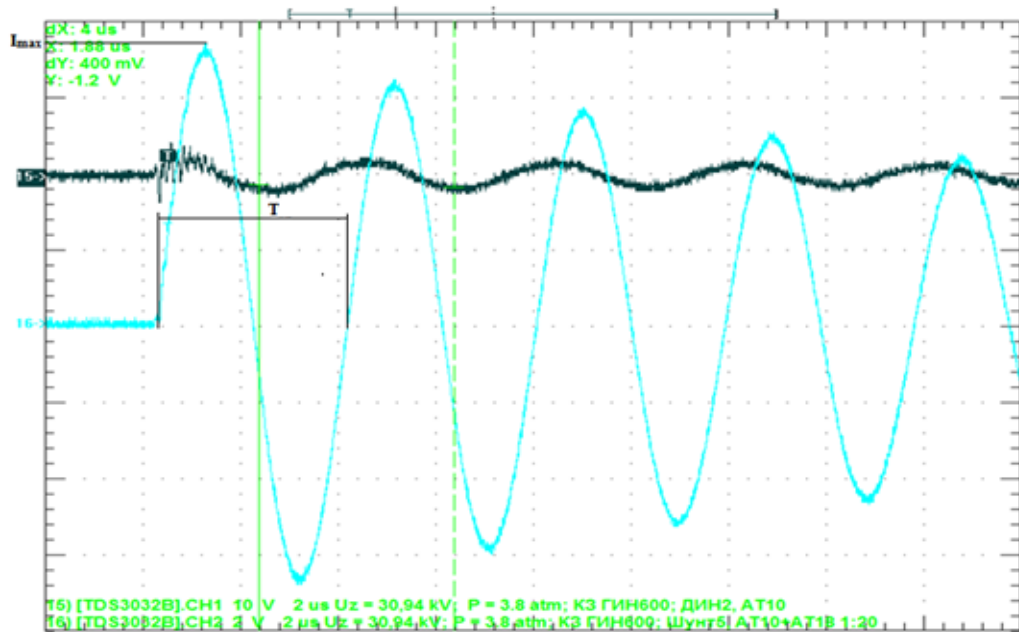


Abbildung 25 –Die Erfahrung kurz die Schlüsse

Die Induktivität der Entladungskontur klärt sich aus der Periode des Kurzschlusses des Generators:

$$T_{KZ} \cong 2\pi\sqrt{L_p \cdot C_g \cdot \ln \Delta}, \quad (28)$$

wo T_{KZ} – der Periode des Kurzschlusses, s;

L_p – die Induktivität der Entladungskontur, H;

C_g – die Stosskapazität des Generators, nF;

Δ – das Dekrement der Dämpfung der Kurve des Stromes.

$$\Delta = \frac{I_1}{I_3} = \frac{0,37}{0,32} = 1,156 \quad (29)$$

wo I_1 –die Spitzenbedeutungen der ersten Halbwelle des Stromes;

I_2 – die Spitzenbedeutungen der dritten Halbwelle des Stromes.

$$L_p = \frac{T_{KZ}^2}{4\pi^2 C_g \cdot \ln \Delta^2} = \frac{(4 \times 10^{-6})^2}{4\pi^2 \cdot 29,17 \times 10^{-9} \cdot 0,145^2} = 1,389 \cdot 10^{-5} \text{ H} = 13,89 \text{ } \mu\text{H}$$

Der Wellenwiderstand des Generators Z befindet sich nach der nächsten Formel:

$$Z = \sqrt{\frac{L_p}{C_g}} = \sqrt{\frac{13,89 \times 10^{-6}}{29,17 \times 10^{-9}}} = 21,824 \text{ } \Omega \quad (30)$$

Die bekommenen Bedeutungen sind annehmbar für den Generator mit den gegebenen geometrischen und technischen Parametern