

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

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроэнергетических систем (ЭЭС)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Проектирование бурового наконечника для электроимпульсного бурения
УДК 622.24.057.9.001.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ5А	Смольников Максим Михайлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭЭС	Важов В.Ф.	д.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Менеджмента	Грахова Е.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.	к.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	к.т.н		

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

Институт Энергетический
Направление подготовки (специальность) 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЭКМ
_____ Сулайманов А. О.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ5А	Смольникову Максиму Михайловичу

Тема работы:

Проектирование бурового наконечника для электроимпульсного бурения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 593/с от 03.02.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.17
--	---------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Номинальное напряжение $U_{гин}=500$ кВ, Энергия в разряде $W_{гин}= 4300$ Дж Емкость ГИН в разряде $C_{гин}= 0,072$ мкФ Параметры электродной системы (наконечника) $D_{нак}=270$ мм.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Литературный обзор текущей ситуации2. Конструирование бурового наконечника

	3. Расчет характеристик бурового снаряда
Перечень графического материала	Демонстрационный материал (презентация в Power Point)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Е.А.
Социальная ответственность	Дашковский А.Г.
Приложение А	Воробьева В. В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Introduction.	
1. PCD process parameters	
1.1 Process description	
2. Electrode arrangement	
3.Voltage pulse shape	
4.Water breakdown	
5.Current in the plasma channel	
Conclusion	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.09.2016
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭЭС	Важов В.Ф.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5A	Смольников Максим Михайлович		

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

Институт – Энергетический
Направление подготовки – 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
Уровень образования – Магистратура
Кафедра – «Электроэнергетических систем»
Период выполнения – осенний/весенний семестр 2016/2017 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:	8.07.17
--	---------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.12.15	Обзор отечественной литературы	15
11.03.16	Методика проведения исследований	5
30.04.17	Экспериментальная часть	20
30.05.17	Обсуждение результатов	5
01.06.17	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
03.06.17	Социальная ответственность	20
04.06.17	Заключение	5
06.06.17	Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭЭС	Важов В.Ф.	д.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А. О.	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
ОК-1	Способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения
ОК-2	Способностью к письменной и устной коммуникации на государственном языке: умению логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; готовностью к использованию одного из иностранных языков
ОК-3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе
ОК-4	Способностью находить организационно-управленческие решения в нестандартных условиях и в условиях различных мнений и готовностью нести за них ответственность
ОК-5	Способностью и готовностью понимать движущие силы и закономерности исторического процесса и определять место человека в историческом процессе, политической организации общества, анализировать политические события и тенденции, ответственно участвовать в политической жизни
ОК-6	Способностью в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, готовностью приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения
ОК-7	Готовностью к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции
ОК-8	Способностью и готовностью осуществлять свою деятельность в различных сферах общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм
ОК-9	Способностью и готовностью к соблюдению прав и обязанностей гражданина; к свободному и ответственному поведению
ОК-10	Способностью научно анализировать социально значимые проблемы и процессы, готовностью использовать на практике методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности
ОК-11	Способностью и готовностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией
ОК-12	Способностью и готовностью к практическому анализу логики различного рода рассуждений, к публичным выступлениям, аргументации, ведению дискуссии и полемики
ОК-13	Способностью и готовностью понимать и анализировать экономические проблемы и общественные процессы, быть активным субъектом экономической деятельности
ОК-14	Способностью самостоятельно, методически правильно использовать методы физического воспитания и укрепления здоровья, готовностью к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
ПК-1	Способность и готовность использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики, в своей предметной области
ПК-2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ПК-3	Готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способностью привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат
ПК-4	Способность и готовность использовать нормативные правовые документы в своей профессиональной деятельности
ПК-5	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от последствий возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий
ПК-6	Способность и готовность анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ПК-7	Способность формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой);

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 145 страниц, 42 рисунков, 34 таблиц, 72 источников и 1 приложение.

Ключевые слова: Электроимпульсная технология, Бурение горных пород, Электрическая прочность воды, Конфигурация электродов, Буровой наконечник.

Объектом исследования является технология расчета и проектирование бурового наконечника для электроимпульсного бурения.

Цель работы – расчёт и проектирование бурового наконечника для электроимпульсного бурения.

В процессе работы был рассчитан и спроектирован буровой наконечник для электроимпульсного бурения.

В результате исследования: получены параметры, спроектированного бурового наконечника.

Степень внедрения: лабораторная установка, научные исследования и разработки.

Область применения: электроимпульсная технология разрушения материалов.

Экономическая эффективность/значимость работы: применение хорошо собранного бурового наконечника 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.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 в соответствии с ГОСТ Р 1.5-2004, графический материал – построение конструктивного чертежа в программе

Microsoft Visio. Работа представлена в распечатанном виде на листах формата А4 и на диске CD R (в конверте на обороте обложки).

Оглавление

Введение.....	14
1. Обзор литературы.....	21
1.1 Физическая сущность электроимпульсного способа внедрения канала разряда в твердые диэлектрики и горные породы.....	21
1.2 Электрическая прочность пробоя горных пород в трансформаторном масле и в воде в зависимости от расстояния.....	25
1.3 Эффективность разрушения горных пород в зависимости от расстояния в воде.....	29
1.4 Влияние волны импульсного напряжения при пробое на спаде импульса... 35	
1.5 Необходимость использования воды или растворов на ее основе для ЭИ технологии бурения.....	40
1.6 Цель работы.....	54
2. Расчет и конструирование электродной системы для электроимпульсного разрушения в воде.....	56
2.1 Исходные данные для конструирования и расчета вариантов бурового наконечника.....	59
2.2 Конструкция наконечника.....	59
2.2.1 Вариант 1.....	60
2.2.2 Вариант 2.....	63
2.3 Размер бурового снаряда и возможность выноса разрушенной породы.....	66
2.4 Расчет характеристик бурового наконечника.....	68
2.4.1 Расчет индуктивности и волнового сопротивления.....	68
2.4.2 Расчет длительности фронта и импульса.....	69
2.5 Изолятор бурового наконечника.....	71
2.5.1 Рекомендации по конструированию изолятора бурового наконечника при электроимпульсном бурении.....	71
2.5.2. Расчет напряженности в изоляторе наконечника.....	72
2.5.3. Оценка напряжения перекрытия проходного изолятора ГИН.....	74

2.6. Расчет скорости бурения для второго варианта наконечника	75
2.7 Сравнительный анализ с механическими способами бурения	77
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	78
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	79
3.2 SWOT – Анализ	84
3.3 Планирование комплекса работ на создание проекта.....	85
3.4 Определение трудоемкости работ.....	88
3.5 Расчет сметы затрат на проектирование.....	90
3.5.1 Бюджет научного проекта.....	90
3.5.2 Расчет материальных затрат	90
3.5.3 Основная заработная плата	91
3.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	93
3.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	93
3.5.6 Амортизация оборудования	94
3.5.7 Накладные расходы.....	95
3.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	96
3.6 Оценка целесообразности исследования	97
3.6.1 Оценка научно-технического уровня следования.....	97
3.6.2 Оценка возможных рисков.....	98
4. Социальная ответственность	102
Аннотация	102
Введение	102
4.1. Профессиональная социальная безопасность	103
4.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	103
4.1.2 Техника безопасности.....	110
4.2. Экологическая безопасность.....	111
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	112

4.4 Организационные вопросы обеспечения безопасности.....	115
Заключение.....	116
Список использованных источников:.....	117
ПРИЛОЖЕНИЕ А	122

ВВЕДЕНИЕ

Развитие горнорудной и нефтегазовой промышленности характеризуется все возрастающими объемами добычи полезных ископаемых, увеличилась доля буровых работ в крепких горных породах. Увеличиваются объемы работ в особо крепких породах для бурения скважин, самых разных назначений, для геолого–разведочных работ, сооружения промышленных объектов и т.д

На сегодня разработано более 40 способов разрушения горных пород, бетонов и других механически прочных твердых тел [1]. Несмотря на значительный прогресс в этой области, производительность традиционных способов методов разрушения остается низкой при высокой стоимости работ и конструктивных материалов.

Всем традиционным способам разрушения присущ общий недостаток - к разрушаемому телу прикладывается статическая или ударная нагрузка с преобладанием напряжений сжатия или среза. В этой связи для его разрушения необходимо высокое давление рабочего инструмента на материал, следствием чего являются его малая стойкость и быстрый абразивный и быстрый абразивный износ, высокие удельные затраты энергии [2].

При бурении особенно высокие требования к безотказности работы разрушающего инструмента обусловлены большими финансовыми затратами и временными потерями из-за его дороговизны и сложной процедуры замены при поломке в процессе проходки скважины. Бурение горных пород – один из самых затратных и трудоемких технологических процессов при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. Техничко-экономический анализ современных способов бурения скважин показывает невозможность устранения целого ряда присущих им недостатков [1–3,4];, обуславливающих высокую себестоимость буровых работ:

- низкий КПД – 2-10 %;
- наличие сложных кинематических передач, необходимых для передачи энергии (механической энергии вращения) на забой;
- быстроизнашивающийся и недостаточно надежный буровой наконечник;
- резкое уменьшение скорости бурения с увеличением крепости разрушаемых пород и диаметра скважин;
- стоимость остается низкой при высокой стоимости работ и конструкционных материалов.

Основными требованиями к новым способам разрушения материалов, являются следующие:

- 1) разрушение твердых тел должно происходить без больших механических воздействий на них (ударов, трения) со стороны инструмента (для устранения ограничений, накладываемых стойкостью и большими энергозатратами на трение);
- 2) разрушение твердых тел в импульсном режиме, устраняющее значительный расход энергии на пластическую деформацию и позволяющее концентрировать большие мощности при невысоких исходных количествах энергии;
- 3) обеспечение регулируемой степени измельчения, устраняющее затраты энергии на переизмельчение продуктов разрушения;
- 4) нагружение твердых тел с преобладанием напряжений разрыва и сдвига, а не сжатия
- 5) отсутствие промежуточных трансформаций энергии, сопровождающихся ее значительными потерями;
- 6) слабая зависимость производительность процесса разрушения от крепости горных пород и искусственных твердых тел;
- 7) хорошая управляемость характером и направленностью разрушения.

Поиск новых способов и методов разрушения твердых тел (в частности, горных пород) привел к открытию принципиально нового способа — электроимпульсного. К настоящему времени выполнен значительный объем научно-исследовательских работ, направленных на изучение закономерностей электрического пробоя различных диэлектрических сред: твердых, жидких, газообразных.

Большинству этих требований удовлетворяет электроразрядная технология, основанная на использовании в качестве «рабочего инструмента» плазменного канала искрового разряда в твердом непроводящем теле. Плазма канала разряда возобновляется от разряда к разряду, т.е. не изнашивается и не стареет. В самой сущности этого способа заложена возможность достижения более высокой в сравнении с механическими способами эффективности разрушения с низкими энергетическими затратами.

ЭИ способ разрушения был открыт в начале шестидесятых годов в Томском политехническом университете и готов для подготовки к переходу в серийное производство и к промышленному освоению [5]. Реализуемость ЭИБ доказана многочисленными скважинами, пробуренными до глубины 200 м в граните (кристаллической породе). Прогнозные оценки показывают исключительно низкую стоимость бурения технологией ЭИБ: 100 евро на 1 метр бурения скважины большого диаметра, 20 дюймов (50 см) в диаметре, вне зависимости от глубины и типа пород, одинаково верно и для осадочных, и для кристаллических пород, таких как гранит [6].

Следует отметить, что проведенные ранее исследования так и не определили наиболее эффективные области применения ЭИ технологии бурения. Последующие исследования позволяют на сегодня назвать в качестве таковых:

- 1) неглубокое ЭИ бурение для геотехники, энергетических свай, измерений с целью минимизации природных бедствий, и т.д.;

- 2) глубокое ЭИ бурение (3-5 км) гидро-геотермальных систем, разведочных кампаний и т.д.;
- 3) скважин под опоры мостов и вентиляционных шахтных скважин;
- 4) захоронение опасных отходов;
- 5) суперглубокое ЭИ бурение (5-10 км) петро- геотермальных систем, дающих возможность экономичного получения электроэнергии [6].

Автономный и неограниченный источник экономически- выгодной электроэнергии, не говоря уже об огромном количестве тепловой энергии, обеспечивает надежный, чистый и возобновляемый энергоресурс с высокой степенью надежности энергоснабжения. Такая разработка обеспечит значительный вклад в решение глобальной задачи ограничить изменение климата в пределах менее 2 °С. Снижение потребления ископаемых видов энергоресурсов, благодаря переходу к надежной и безопасной системе энергоснабжения, влечет за собой и уменьшение загрязнения воздуха

Это обусловило необходимость исследования процессов при бурении скважин и стволов большого диаметра и глубоких скважин, а также разработки соответствующего оборудования. Ранее проведенные исследования показали, что увеличение рабочего промежутка между электродами перспективно для увеличения производительности процесса. Поэтому исследования характера разрушения горных пород при увеличении длин рабочих промежутков, разработка рабочих наконечников, определение энергетических показателей разрушения позволит перейти к созданию оборудования для бурения скважин большого диаметра. Перспективы глубинного бурения могут быть определены при исследовании изменения электрической прочности буровых растворов и характера разрушения горной породы в условиях повышенных температур и давлений.

По электрической прочности горные породы отличаются друг от друга не столь существенно, как по механической, и вполне допустимо говорить о малой зависимости ЭР-разрушения от крепости горных пород. Вследствие

этого электроразрядная технология особенно выигрышно в случаях, когда разрушаемое тело обладает повышенной прочностью [7].

По сравнению с традиционными способами ЭИ способ разрушения позволяет снизить энергоемкость буровых работ, за счет силы растяжения, которая оказывает разрушающее действие. Энергетическая эффективность разрушения мало зависит от прочности горной породы. Максимальный технико-экономический эффект достигается при разрушении особо крепких горных пород и бурения скважин больших диаметров.

Для электровзрыва наиболее часто используется техническая вода, подготовленная специальным образом (конденсаты и т.д.), реже жидкие углеводороды, силиконовые масла, глицерин. Все исследователи при полевом бурении использовали в качестве рабочей жидкости трансформаторное и соляровое масло. Удешевление бурения происходит за счет использования воды в качестве промывочной жидкости вместо углеводородных жидкостей.

Импульсная электрическая прочность всех перечисленных жидкостей выше, а иногда значительно, чем статистическая прочность на постоянном напряжении, однако при инициировании электровзрыва обычно используют импульсы напряжения, ибо только в этом случае в реальных жидкостях удастся добиться электрической формы пробоя и избежать больших энергозатрат на формирование искрового канала.

На основании многочисленных исследований и опытов бурения, резания и дробления горных пород и руд проведен подробный анализ преимуществ электроимпульсного способа разрушения перед существующими и разрабатываемыми методами. Приведем лишь наиболее существенные достоинства разрушения твердых тел электрическими разрядами в их толще[8].

Способ канализации электрической энергии к электродной системе на забое скважины и её преобразование в энергию поля механических напряжений, создаваемых электрическим разрядом в горной породе,

осуществляется без промежуточных ступеней её преобразования в другие виды энергии, характерных для иных методов воздействия на разрушаемый объект:

- Простота создания больших мощностей на забое скважин.
- Скорость и энергоемкость бурения определяются, главным образом, упругими и электрофизическими характеристиками твердых диэлектриков, а зависимость от их твердости и абразивных свойств незначительна.
- Разрушение породы происходит под действием динамических усилий растяжения, возникающих при выделении электрической энергии в канале пробоя. Известно, [3] что механическая прочность на растяжение меньше, чем на сжатие, что создает благоприятные условия для повышения эффективности использования энергии, подводимой к забою скважины при электроимпульсном способе бурения .
- Возможность получения высоких скоростей и малая энергоемкость бурения пород высокой крепости. ЭИ способ имеет большие резервы дальнейшего увеличения производительности и снижения стоимости буровых работ, что позволяет существенным образом улучшить его технико-экономические показатели.

Основными направлениями в решение этой задачи являются:

- Применение дешевых и недефицитных промывочных жидкостей, обеспечивающих с достаточной степенью вероятности развития пробоя в толще разрушаемого тела.
- Повышения производительности бурения за счет увеличения межэлектродных промежутков, частоты следования импульсов и эффективности разрушения под воздействие каждого импульса путем оптимизации его параметров на всех стадия процесса разряда.
- Обеспечение надежной работы изоляции буровых снарядов и электроимпульсных установок в длительных режимах их работ.

- Совершенствования технологических схем и, главным образом, разработка и выбор технических средств и источников импульсов, обеспечивающих эффективные режимы бурения горных пород. Решения этих проблем возможно лишь при дальнейшем исследовании физических основ электроимпульсного способа бурения и совершенствовании на этой основе техники и технологии отдельных этапов процесса бурения скважин.

Основным недостатком инициирования разряда электрическим пробоем является использование высоких амплитуд импульсного напряжения (до 400 кВ и более), которые необходимо транспортировать на рабочий инструмент (буровой наконечник). Основная масса отказов при бурении связана с электрическим пробоем твёрдой и жидкой изоляции в буровом снаряде. Твёрдая изоляция, используемая в буровом снаряде, испытывает многократное воздействие импульсного напряжения при высоких градиентах электрического поля, что существенно уменьшает срок её службы и требует специальных исследований. Поиск методов снижения амплитуд импульсного напряжения, используемого для ЭИ бурения, а также поиск и исследование буровых растворов, отвечающих требованиям ЭИ технологии и экологии, является актуальной задачей.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Физическая сущность электроимпульсного способа внедрения канала разряда в твердые диэлектрики и горные породы.

Электроимпульсный способ (ЭИ) характеризуется тем, что канал электрического разряда формируется непосредственно внутри твердого тела, а не в окружающей его жидкости.

Когда образуется канал сквозной проводимости между электродами (канальная стадия развития разряда), по нему протекает импульсный ток (~ 10 кА и более) и в течение короткого времени ($\sim 10^{-6}$ - 10^{-5} с) выделяется основная энергия накопителя (конденсатора). Вещество в канале разряда находится в состоянии низкотемпературной плазмы ($T=(10-12) \cdot 10^3$ °С, давление $\sim 10^9$ Па). В таких условиях канал разряда взрывообразно расширяется, генерируя ударные волны, которые расходятся от стенок канала разряда в сторону свободных поверхностей в материале. Такое воздействие на материал приводит к появлению в нем растягивающих и сдвиговых напряжений. Известно, что прочность горных пород на растяжение или сдвиг на порядок меньше, чем при сжатии.

Формирование траектории канала разряда в твердом неоднородном теле имеет избирательный характер, т.е. траектория канала разряда ориентируется на электрофизические неоднородности, например, включения, имеющие повышенную проводимость и диэлектрическую проницаемость, такие как сульфиды, окислы металлов и т.д. Таким образом, уже в стадии формирования канала разряда возникают предпосылки направленного разрушения сырья. Кроме того, в завершающей стадии развития канала разряда (дуговая стадия), когда генерируются ударные волны, в процессе их движения они взаимодействуют с акустическими неоднородностями, в качестве которых выступают отдельные минералы или их границы раздела "минерал - вмещающая порода", акустическая жесткость которых отличается

от матрицы. Взаимодействие ударных волн с акустическими неоднородностями создает на границах срастания усилия разупрочняющие или разрушающие эту границу. А отраженные от неоднородностей волны осуществляют дополнительное энергетическое питание магистральных трещин. Магистральные трещины разрушения развиваются с некоторой задержкой во времени и распространяются от канала разряда к периферии образца, ориентируясь на области расположения неоднородностей, т.к. зоны вблизи включений ослаблены, а отраженные от них волны создают растягивающие усилия на пути от неоднородности до вершины трещины. Газообразные продукты распада канала разряда создают эффект клина в начале трещины.

При подаче импульсного напряжения, с соответствующей крутизной фронта в системе наложенных электродов на поверхность горных пород, находящихся в жидкости (рисунок 1), вероятность прохождения разрядного канала в твердом теле будет больше чем 50% [7,8].

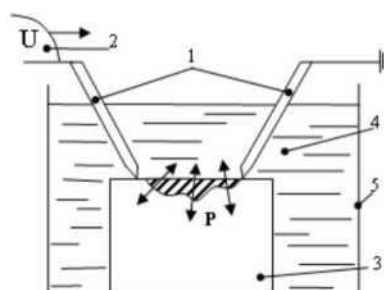


Рис. 1 – Схема электроимпульсного пробоя твердых тел:

1 – электроды; 2 – импульсное напряжение; 3 – образец; 4 – жидкость; 5 – бак.

Для образования откольной воронки необходимо достаточное быстрое выделения необходимой энергии в разрядном канале. При пробое в канале произойдет микро-электровзрыв, что приведет к разрушению горной породы. Из опыта известно, что для твердых диэлектриков пробивные градиенты, по сравнению с жидкими и газообразными диэлектриками, на промышленной

частоте и на постоянном токе выше. Поэтому, для того чтобы разрядный канал проходил в твёрдом диэлектрике, окруженной жидкостью, необходимо сочетание некоторых условий, отдельных явлений и закономерностей. Для инициирования разряда в твердом диэлектрике необходимо соблюдение параметров импульса, таких как крутизна импульса, длительность воздействия напряжения и амплитуда напряжения. Так как инструментом разрушения является плазма, износ электродов, изготовленных из обычных сталей чрезвычайно мал и составляет порядка $15,3 \cdot 10^{-6}$ г/имп [7,8].

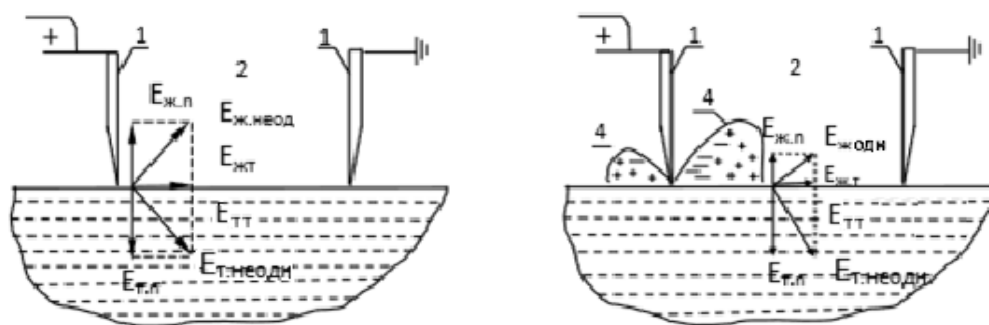
Существует две стадии ЭИ эффекта:

1. Пробивная стадия-образование канала пробоя в твердом теле, обусловленное условиями формирования разряда в твердом диэлектрике (стадия формирования разряда). Параметры импульсов в первой стадии, необходимые при ЭИ бурении для образования с достаточной степенью вероятности канала пробоя в твердом диэлектрике, определяются соотношением электрических прочностей пробиваемой породы, промывочной жидкости и границы их раздела.

2. Послепробивная стадия - резкое расширение канала пробоя и разрушение горной породы, вызванное выделением электрической энергии в канале разряда (Завершающая стадия) Параметры импульсов во второй завершающей стадии определяются сопротивляемостью материала разрушающим усилиям, создаваемым электрическим разрядом в твердом теле. Различие свойств горных пород и промывочной жидкости, влияющих на выбор параметров импульса в различных стадиях разряда, вызывают необходимость исследования по оптимизации параметров нагрузки в каждой стадии отдельно.

По теории Г.А Воробьёва [9] одним из основных факторов, влияющих на развитие канала пробоя, является объемный заряд (ОЗ), накапливающийся в жидкости вблизи стержневых электродов по мере осуществления

ионизационных и лавинно–стримерных процессов (рисунок 2). Объемный заряд в первую очередь приводит к выравниванию электрического поля в жидкости. Процесс этот динамически и в очень значительной степени зависит от напряженности электрического поля на острие и времени воздействия напряжения. Происходит накопление объемного заряда в жидкости, что приводит к уменьшению напряженности электрического поля на границе ОЗ и выравниванию поля в жидкости в межэлектродном промежутке. В связи с этим дальнейшее продвижение стримерных разрядов вглубь межэлектродного промежутка снижается, а лавинно стримерные процессы происходят между границей ОЗ и противоположенным электродом.



1–электроды; 2–жидкий диэлектрик; 3–твердый диэлектрик; 4–объемный заряд; $E_{т.п.}$, $E_{ж.п.}$ – нормальная; $E_{т.т.}$, $E_{ж.т.}$ – тангенциальная; $E_{т.неодн.}$, $E_{ж. одн.}$ – суммарные составляющие напряженности в неоднородных полях в твердых и жидких диэлектриках соответственно; а – до образования ОЗ; б – ОЗ образован.

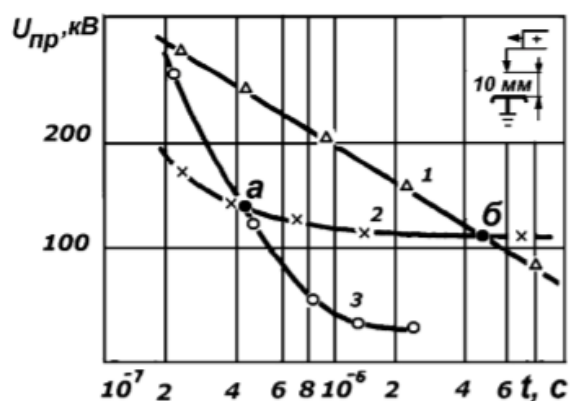
Рис. 2 – Схематичное распределение напряженности электрического поля в диэлектриках.

При необходимой величине напряжения (напряженности) на острейном электроде напряженность на головке стримера оказывается достаточной для зажигания разряда в твердом теле. Таким образом, вблизи острейного электрода возникает зона, занятая ОЗ, в которой разряд в твердое

тело не может быть внедрен. Внедрение канала разряда в твердое тело всегда начинается на границе ОЗ. Это зона представляет собой эллипс вокруг острейшего электрода, большая ось которого направлена в сторону противоположенного электрода. Таким образом, можно предположить, что объёмный заряд в жидкости вблизи острейшего электрода создает квазиоднородное поле, что препятствует дальнейшему развитию напряженности электрического поля на границе объемного заряда. Пробивное напряжение жидкого диэлектрика в пределе будет соответствовать однородному полю $U_{ж.одн.}$. В твердом диэлектрике поле будет оставаться резконеоднородным и определяется конфигурацией каналов стримерных разрядов по поверхности раздела твердого тела–жидкость. Стримерные каналы будут распространяться в твердом и в жидком диэлектрике. Будет идти конкуренция двух разрядов в жидком и в твердом диэлектрике. Скорость развития разряда в жидком диэлектрике меньше ($V_{жид.} \sim 10^5$ см/с), по сравнению с твердым диэлектриком $V_{тверд.} \sim 10^6$ см/с [9]. Стримерные каналы по твердому диэлектрику замкнутся на электродах быстрее, чем в жидком диэлектрике. Произойдет пробой твердого диэлектрика. Далее выделяется энергия в разрядный канал в твердом диэлектрике.

1.2 Электрическая прочность пробоя горных пород в трансформаторном масле и в воде в зависимости от расстояния.

При исследовании электрической прочности твердых и жидких диэлектриков на импульсных напряжениях при временах экспозиции порядка ($10^{-6} - 10^{-7}$) с. скорость нарастания их электрической прочности изменяется по-разному (рисунок 3). Снижение электрической прочности твердых диэлектриков по сравнению с жидкими, можно добиться изменением времени воздействия напряжения или увеличением крутизны фронта импульса.



1 - трансформаторное масло, 2 – гранит, 3 – техническая вода.

Рис. 3 – Вольт-секундные характеристики пробоя диэлектриков.

В исследованиях электрической прочности жидких и твердых диэлектриков на косоугольной волне импульсного напряжения было установлено, что их вольт-временные зависимости пробоя (далее вольт-секундные характеристики - в.с.х.) характеризуются различным коэффициентом импульса β . Данный коэффициент определяет степень роста напряжения пробоя на импульсном напряжении по отношению к напряжению пробоя на статическом напряжении (напряжении постоянного тока, тока промышленной частоты). С уменьшением времени экспозиции импульсного напряжения прочность жидких диэлектриков растет быстрее, чем для твердых диэлектриков, что приводит к инверсии соотношения электрических прочностей сред. На статическом напряжении электрическая прочность твердых диэлектриков, как правило, превышает прочность жидких диэлектриков в одинаковых разрядных промежутках. Однако на импульсном напряжении при экспозиции напряжения менее 10^{-6} с электрическая прочность диэлектрических жидкостей и даже технической воды возрастает настолько, что становится выше прочности твердых диэлектриков и горных пород.

На рисунке 4 схематично дано сопоставление вольт-секундных характеристик пробоя в одинаковом разрядном промежутке твердого тела (горной породы) и жидкой среды. Точка пересечения вольт-секундных характеристик Ak соответствует равенству прочностей и вероятности

электрического пробоя сравниваемых сред, и при экспозиции импульсного напряжения менее 10^{-6} с горная порода становится электрически слабее такого жидкого диэлектрика, как трансформаторное масло, а при экспозиции менее $(2-3) \cdot 10^{-7}$ с - слабее технической воды. В области диаграммы левее A_k преобладает электрический пробой твердого тела. В диэлектрических жидкостях условия для реализации процесса более благоприятные, пробой в недиэлектрической жидкости требует импульсов напряжения с длительностью фронта на порядок меньше (10^{-7} с) и более высокого уровня напряжения.

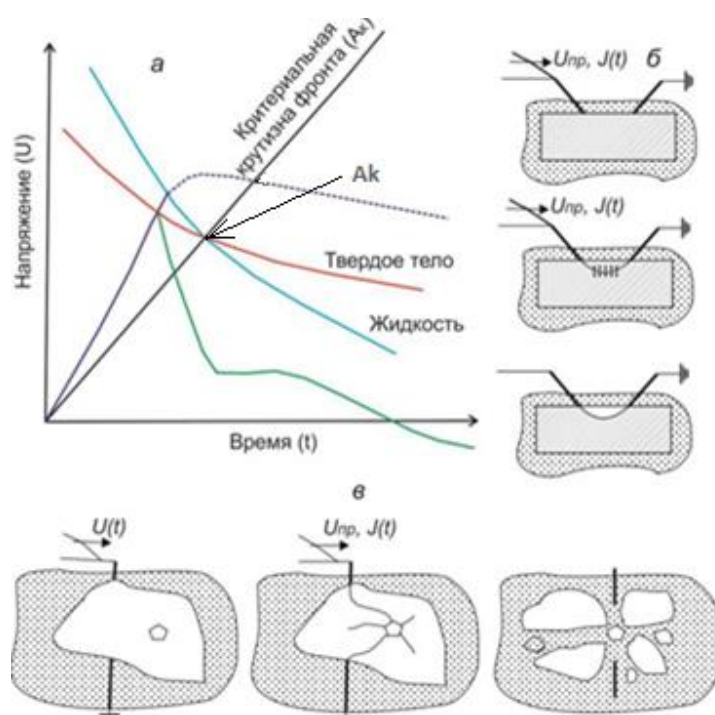


Рис. 4. Принцип электроимпульсного разрушения:

а - сопоставление в.с.х. различных сред; б - последовательность процессов пробоя и разрушения в системе с одной свободной поверхностью;

в - последовательность процессов пробоя и разрушения фрагментов материала.

Реализация отмеченного эффекта инверсии электрической прочности диэлектриков в применении к разрушению пород поясняется на рис. 4 б, в. Когда к электродам, установленным на поверхность твердого тела (горной породы), прикладывается импульс напряжения $U(t)$ с параметрами,

соответствующими левой части графика от точки равнопрочности, пробой в промежутке с вероятностью более чем 50% происходит внутри твердого тела, а не по кратчайшему пути по поверхности твердого тела. (Далее это явление мы будем называть как внедрение разряда в твердое тело.) Послепробивная стадия процесса характеризуется протеканием в канале разряда импульса тока $I(t)$ и выделением энергии $W(t)$. При этом если в канале разряда достаточно быстро будет выделено необходимое количество энергии, то воздействие канала разряда на твердое тело по внешним признакам будет аналогично микровзрыву в твердом теле с образованием откольной воронки и отрывом части материала от массива или крупного блока (рис. 4 б), с разрушением куска материала на отдельные фрагменты (рис.4 в). Среда, окружающая разрушаемый массив материала с токоподводящими электродами, выполняет в процессе роль агента, способствующего электрическому пробое твердого тела и обеспечивающего технологическую функцию удаления продукта разрушения из зоны реализации процесса. Чаще всего это жидкость, в том числе и вода.

Общим для всех видов изолирующих сред является проявление масштабного эффекта, т.е. зависимости их электрической прочности $E_{пр}$ от межэлектродного расстояния, площади электродов, объема изоляционной среды, находящейся в электрическом поле. В изоляционных конструкциях этот эффект проявляется в уменьшении средней пробивной напряженности при увеличении габаритов конструкции и числа отдельных изоляционных элементов. При уменьшении расстояния между электродами при прочих неизменных условиях электрическая прочность всех диэлектриков возрастает.

Зависимость $E_{пр}$ от d обусловлена действием и ряда других факторов. При неизменной площади электродов увеличение d сопровождается увеличением объема диэлектрика, находящегося в сильном поле, и количества слабых звеньев, облегчающих пробой. Этот эффект проявляется при пробое любых конденсированных сред.

В реальных условиях эксперимента увеличение d влечет за собой либо увеличение площади электродов, если стремятся обеспечить постоянство коэффициента неоднородности поля, либо увеличение неоднородности поля, если площадь электрода остается неизменной. В обоих случаях $E_{пр}$ уменьшается при увеличении d .

Уменьшение $E_{пр}$ при увеличении d в области больших межэлектродных расстояний следует из рассмотрения физической картины развития разряда в этих условиях. Пробивное напряжение длинных промежутков в жидкостях в значительной мере определяется лидерной стадией разряда. Скорость развития первичного канала, как бы ведущего за собой лидерный канал, определяется в основном напряженностью поля на его головке. Последняя, в свою очередь, зависит от приложенного к промежутку напряжения и падения напряжения на первичном и лидерном каналах. При увеличении d и длины канала разряда падение напряжения в нем увеличивается; для компенсации падения напряжения требуется увеличение приложенного к промежутку напряжения. Однако увеличение длины промежутка, длины разрядного канала и, следовательно, времени его развития способствует прогреву канала и уменьшению продольных градиентов потенциала в нем. Это означает, что необходимое для компенсации падения напряжения повышение напряжения на промежутке связано с его длиной нелинейной зависимостью.

1.3 Эффективность разрушения горных пород в зависимости от расстояния в воде.

Импульсная электрическая прочность горных пород повышается с ростом коэффициента крепости, модуля упругости и временного сопротивления на разрыв. Как механическая, так и электрическая прочность горных пород растет с увеличением степени метаморфизма. Важнейшее значение для ЭИ технологии имеет то, что горные породы по электрической прочности различаются не так сильно, как различаются их физико-

механические свойства. При 7-кратном отличии кварцита и песчаника по прочности на сжатие их электрическая прочность отличается менее чем в 2 раза. Характерно также, что наиболее электрически прочные породы в меньшей степени повышают ее при уменьшении времени экспозиции напряжения. Относительный рост напряжения пробоя (k) в интервале времени от 10^{-5} с до 10^{-7} с для изверженных и метаморфических горных пород (кварцит, порфир, мрамор) составляет $k=1.5-1.7$, а осадочных пород (сланец, уголь, песчаник) $k=2.2-2.5$. Эти обстоятельства являются предпосылкой универсальности ЭИ - его применимости для разрушения горных пород любой механической прочности и высокой эффективности его применения для разрушения особо крепких горных пород.

На основе обширного опыта экспериментального определения параметров пробоя укажем средние градиенты напряжения пробоя горных пород в сантиметровой промежутке на фронте косоугольного импульса. В оптимальных условиях пробоя они составляют 50-100 кВ/см при пробое в диэлектрических жидкостях ($A_k=200-500$ кВ/мкс) и до 250-300 кВ/см при пробое крепких горных пород в технической воде ($A_k=2000-3000$ кВ/мкс). Критериальный параметр $A_k=U/t$, соответствующий равновероятности пробоя в параллельной системе сред и численно равный крутизне фронта косоугольного импульса напряжения, в значительной степени определяется тремя главными факторами - видом горной породы, видом окружающей частицу разрушаемого материала внешней среды, формой импульса напряжения. В меньшей степени A_k зависит от геометрии электродов, величины разрядного промежутка и соотношения размеров разрядного промежутка и разрушаемого твердого тела. Особо отметим роль внешней среды. Важнейшей функцией среды является ограничение возможности развития разряда по поверхности материала, чем создаются благоприятные возможности для внедрения разряда в толщу твердого тела. Чем выше диэлектрические свойства внешней среды, тем проще реализуется процесс внедрения разряда в твердое тело. Наиболее предпочтительными в этом

отношении являются минеральные масла и наиболее доступным для этих целей является дизельное топливо, как наиболее дешевое, а также достаточно эффективно процесс реализуем и в воде. С ухудшением диэлектрических свойств точка равнопрочности сравниваемых сред смещается влево и численное значение критериального параметра A_k увеличивается. Применение данного критерия правомочно в достаточно широком диапазоне разрядных промежутков 10^{-2} - 10^{-1} м и для геометрии электродов, свойственных технологическим устройствам разрушения пород [8].

Разрабатываемый в Томском политехническом университете электроимпульсный (ЭИ) способ разрушения горных пород и искусственных материалов обладает рядом преимуществ перед традиционными механическими способами. Одним из них является более высокая производительность, которая возрастает с увеличением межэлектродного расстояния (S). Однако, при традиционном подходе к ЭИ разрушению (пробой горной породы осуществляется на фронте импульса напряжения) для пробоя горных пород в дециметровых промежутках требуются большие амплитуды напряжения. Исследованиями, проведенными на кафедре ТЭВН ТПУ, показано, что при пробое горных пород на спаде импульса напряжения в воде пробивное напряжение снижается в среднем на 40-55% [2], кроме этого существенно увеличивается время до пробоя без снижения эффективности процесса разрушения. Полученные результаты позволяют смягчить требования к параметрам импульса напряжения (амплитуда, крутизна, длина фронта импульса), что упрощает конструкцию источника высокого напряжения.

Многочисленные данные по импульсному пробоям твердых и жидких диэлектриков показывают, что электрический пробой носит статистический характер, т.е. можно говорить о функции распределения напряжения пробоя $\Psi(U)$. Специальный анализ функции для щелочно-галогидных кристаллов (Каляцкий И.И.) показал соответствие нормальному распределению по Гауссу:

$$\Psi(U) = t e^{-t\phi(U)} \frac{d\phi}{dU},$$

где $\Psi(U)$ - вероятность появления разряда при напряжении U .

В этой связи следует внести определенные коррективы в выше приведенную интерпретацию принципа и условий реализации электроимпульсного разрушения. Представление в.с.х. однозначными кривыми $U(t)$ следует заменить на вероятностные функции напряжений пробоя с полосами разброса (рис. 5) и ввести понятие вероятности внедрения Ψ , составляющее процентное выражение числа случаев с образованием в твердом теле канала сквозного пробоя. Пренебрегая хвостами распределения и полагая, что полосы разброса охватывают все значения пробивных напряжений, можно выделить три сектора: между осью абсцисс и прямой OB - (γ) - область пробоя жидкого диэлектрика с вероятностью 100%, между прямыми OB и OA - (β) - область пробоя твердого диэлектрика с вероятностью $0 < \Psi_s < 100\%$ и между осью ординат и прямой OA - (α) - область пробоя твердого тела с вероятностью 100%. Таким образом, в области крутизны импульса, соответствующей углу $\phi = \alpha + \beta$, возможен пробой твердого диэлектрика при его параллельном включении с промежутком в жидком диэлектрике.

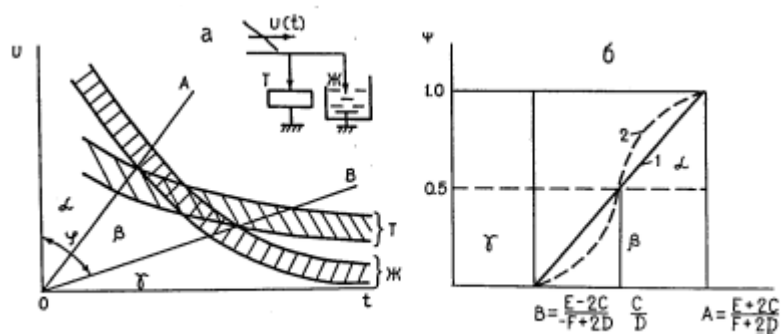


Рис. 5. Стилизованные вольт-секундные характеристики пробоя твердых (т) и жидких (ж) сред (а) и вероятность пробоя твердой компоненты (б).

Имеется возможность аналитической оценки вероятности пробоя в параллельной системе диэлектриков, для чего требуется лишь задать описание в.с.х. отдельных сред и функции распределения напряжения пробоя. В качественном отношении результаты таких оценок достаточно верно отражают экспериментально наблюдаемую картину зависимости вероятности внедрения от крутизны фронта импульса напряжения и могут быть использованы в практических целях на этапе предварительного выбора параметров импульсного напряжения для реализации электроимпульсного процесса.

По экспериментальным данным для горных пород преобладающей тенденцией является повышение вероятности внедрения с ростом крутизны фронта импульсов напряжения и межэлектродного расстояния (рис. 6). Вместе с тем у отдельных твердых диэлектриков после достижения максимума дальнейший рост крутизны импульса напряжения ведет к снижению вероятности внедрения. Снижение вероятности внедрения с уменьшением времени экспозиции напряжения отмечается и при воздействии прямоугольных импульсов с наносекундным фронтом в разрядных промежутках 10-15 мм (рис 7), когда вероятность внедрения заметно ниже 100% и чувствительна к виду горной породы. Однако в

промежутках более 20 мм при временах воздействия (1-2) 10^{-7} с и менее Ψ достигает 100% для широкой гаммы пород от песчаника до кварцита.

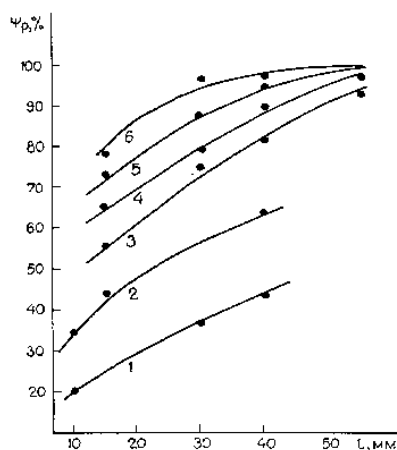


Рис. 6. Зависимости вероятности внедрения от величины межэлектродного расстояния при пробое уртыта[10]:

1,2 - в технической воде при крутизне фронта импульса 1100 и 2000 кВ/мкс; 3,4,5,6 - в дизельном топливе при крутизне фронт а 400, 1000, 2000, 3500 кВ/мкс.

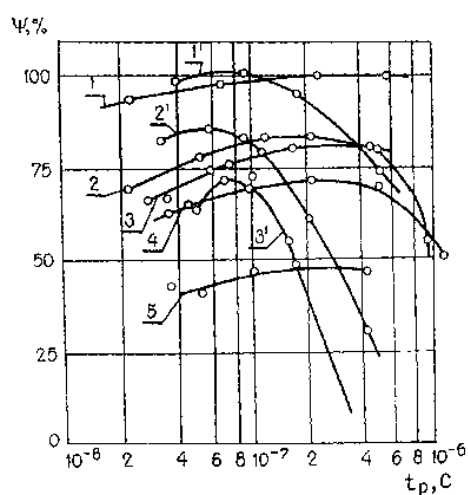


Рис.7. Вероятность внедрения при пробое горных пород на прямоугольных импульсах в воде (1', 2', 3') и трансформаторном масле

(1, 2, 3, 4, 5) [11]: 1, 1' - крупнозернистый песчаник; 2 - мрамор; 3 - мелкозернистый песчаник; 4, 3' - роговик; 5, 2' - кварцит. Разрядный промежуток 10 мм

1.4 Влияние волны импульсного напряжения при пробое на спаде импульса

Предложенная методика пробоя на спаде импульса напряжения позволяет на 40-60% снизить пробивное напряжение горных пород по сравнению с традиционным подходом - пробоем на фронте импульса напряжения или прямоугольном импульсе с наносекундным фронтом (ПИНФ).

Анализ литературных данных показывает, что крутизна и длительность фронта импульса влияют на величину пробивного напряжения горной породы [12]. При пробое на спаде импульса на величину пробивного напряжения влияют как длительность фронта, определяющая напряжение зажигания разряда, так и скорость спада импульса напряжения, определяющая время развития канала разряда.

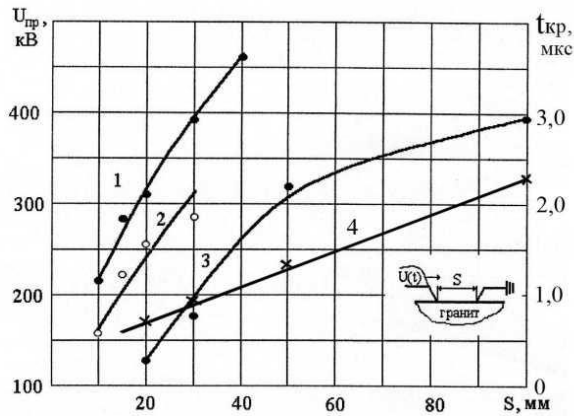


Рис. 8. Зависимость импульсного пробивного напряжения от расстояния между электродами. Время до пробоя $t_{пр} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ с:

- 1 - пробой в трансформаторном масле на фронте [13];
- 2 - пробой в трансформаторном масле на прямоугольном импульсе [14];
- 3 - пробой в воде на спаде; 4 - критическое время до пробоя

На основании полученных результатов для гранита построена зависимость пробивного напряжения от расстояния между электродами $U_{пр} = f(S)$ (рис. 8, кривая 3). Сравнивая полученную зависимость с аналогичными при пробое на фронте $U_{ф}$ (кривая 1) и на прямоугольном импульсе $U_{п}$ (кривая 2), можно отметить, что пробивное напряжение на спаде U_c значительно снижается при одинаковом времени до пробоя.

Исследования проводились в образцах мелкозернистого гранита (прочность на сжатие 233 МПа) в технической воде (удельное сопротивление $\rho < 4 \times 10$ Ом • см см). Длительность фронта импульса изменялась в пределах $(0,25-0,75) \cdot 10^{-6}$ с. Длительность импульса изменялась в пределах $(1,75-3,15) \cdot 10^{-6}$ с. Формирование фронта импульса производилось при помощи фронтной емкости и фронтной индуктивности, длительности импульса путем изменения емкости ГИН $C_{гин}$ от 0,035 до 0,0175 мкФ. Расстояние между электродами оставалось постоянным и составляло 30 мм [12].

Вольтсекундные характеристики (ВСХ) пробоя гранита, полученные

при воздействии импульсов с разной длительностью фронта приведены, на рис.8. При этом длительность импульса оставалась постоянной и составляла 3 мкс. Кривые построены для случая 100% вероятности внедрения разряда в гранит. Видно, что с увеличением t_{ϕ} , значительно возрастает пробивное напряжение: увеличение t_{ϕ} в 3 раза (с 0,25 до 0,75 мкс) приводит к увеличению пробивного напряжения при одинаковом времени до пробоя ($t_{пр}=0,5$ мкс) в - 1,6 раза. При этом время возникновения 100% вероятности внедрения увеличивается в 2,8 раза.

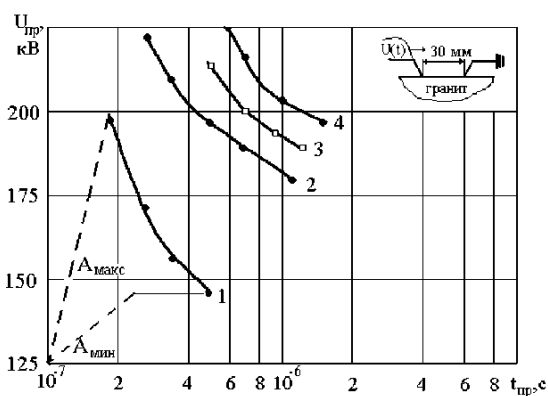


Рис. 9. Вольт-секундные характеристики пробоя гранита в воде при $t_{и} \approx \text{const}$: 1 – $t_{\phi} = 0,25$ мкс; 2 – $t_{\phi} = 0,35$ мкс; 3 – $t_{\phi} = 0,625$ мкс; 4 – $t_{\phi} = 0,75$ мкс

На основании проведенных исследований получена зависимость изменения пробивного напряжения $U_{пр}$ (рис. 9), которому соответствует максимальное время до пробоя при 100% вероятности внедрения, от длительности фронта импульса напряжения, где точка 1 соответствует результатам работы при пробое на прямоугольном импульсе. По результатам данных исследований (кривая 2) и литературным данным (точка 1) проведена гипотетическая кривая 3, которая показывает, что должно иметь место оптимальная длительность фронта импульса ($t_{\phi}=0,1-0,25$ мкс), при которой величина пробивного напряжения горной породы минимальна.

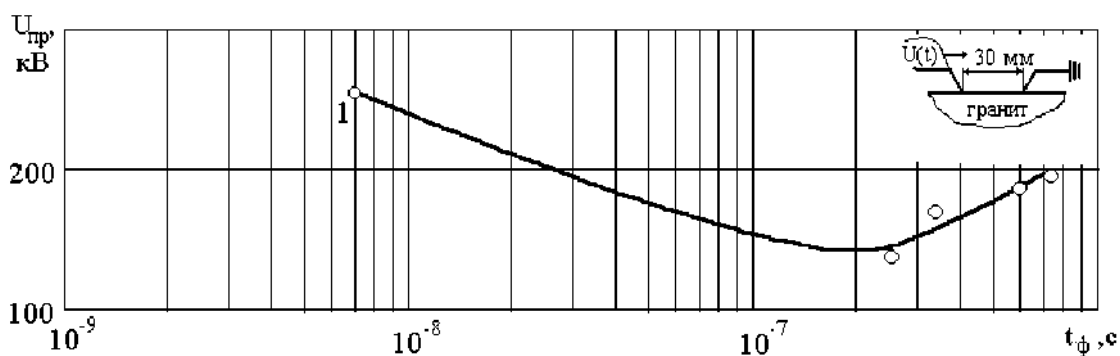


Рис. 10. Зависимость минимального пробивного напряжения гранита в воде от длительности фронта импульса. Точка 1 - [15]

Возможное объяснение такого характера изменения пробивного напряжения может заключаться в следующем-разряд начинает развиваться в горной породе в том случае, когда приложенное напряжение U превысит критическую величину- напряжение зажигания разряда в твердом теле $U_{зак}$. Величина $U_{зак}$ линейно возрастает с увеличением крутизны фронта импульса [9], которая также определяет скорость развития разряда в твердом теле. Т.е. определенной крутизне фронта импульса и фиксированной геометрии электродов соответствует определенное время до пробоя. Увеличение t_{ϕ} , приводит к уменьшению крутизны импульса, т.е. уменьшению скорости нарастания напряжения. Чтобы время до пробоя оставалось неизменным, необходимо увеличить среднюю скорость развития разряда- увеличить крутизну импульса, что требует повышения амплитуды импульса напряжения. Следовательно, имеет место два фактора, определяющих пробивное напряжение: скорость развития разряда и напряжение зажигания разряда в твердом теле. Оптимальное сочетание этих двух факторов позволяет минимизировать пробивное напряжения для конкретных условий при разрушении горной породы.

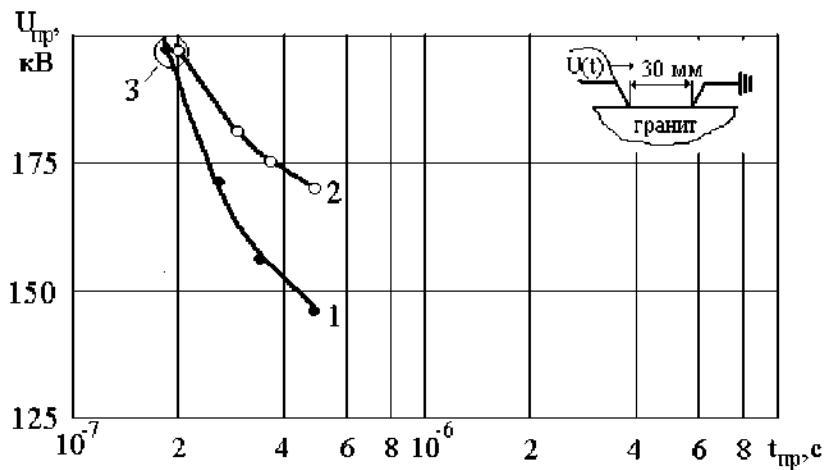


Рис. 11. Вольт-секундные характеристики пробоя гранита в воде при $t \ll const$: 1 - $t_{и} = 3,15$ мкс; 2 - $t_{и} = 1,75$ мкс; 3 - область пробоя на фронте импульса.

Влияние длительности импульса напряжения при пробое на спаде иллюстрируется на рис. 11. Видно, что с увеличением длительности импульса пробивное напряжение гранита уменьшается (кривая 1). В случае пробоя на фронте, длительность импульса не оказывает влияния на величину пробивного напряжения гранита (область 3). Разница в пробивном напряжении возрастает с увеличением времени до пробоя на спаде, что связано с разной скоростью спада и, как следствие, с изменением скорости развития разряда. Уменьшение длительности импульса приводит к замедлению скорости развития разряда. Поэтому необходимо увеличить начальную скорость его развития за счет повышения амплитуды импульса напряжения.

Таким образом, исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- Увеличение длительности импульса приводит к снижению пробивного напряжения горной породы, что обусловлено изменением скорости развития разряда.

- Используя пробой горных пород на спаде импульса напряжения в среде технической воды, можно существенно (на 38-56%) снизить пробивное напряжение по сравнению с традиционным подходом (пробой на ПИНФ и ФИН)
- Уменьшаются потери энергии в предпробивной стадии и посадки напряжения из-за снижения утечек, вследствие уменьшения напряженности электрического поля
- Амплитуда импульсных рабочих напряжений может быть уменьшена без ущерба для вероятности внедрения разряда в твердое обрабатываемое тело.
- Использование пробоя горных пород на спаде импульса напряжения в среде технической воды, позволяет конструировать буровые наконечники с увеличенными межэлектродными промежутками для бурения скважин большого диаметра.
- Существенно увеличивается срок твёрдой изоляции, используемой в буровом снаряде, за счет уменьшения градиентов электрического поля импульсного напряжения электрического поля

1.5 Необходимость использования воды или растворов на ее основе для ЭИ технологии бурения.

Использование электроизоляционных жидкостей на нефтяной основе дает высокую эффективность и производительность, но снижает экономические и экологические показатели процесса. Более перспективной, дешевой и экологичной средой для ЭИ разрушения является такая широкодоступная жидкость, как обычная техническая вода.

Процесс ЭИ разрушения подробно изучен при использовании изоляционных жидкостей на нефтяной основе (трансформаторное масло, дизельное топливо). Однако их использование при разрушении горных пород зачастую нежелательно вследствие высокой стоимости и экологического

загрязнения.

Различают низковольтную и высоковольтную электропроводность диэлектрических и недиэлектрических жидкостей. Различие это условно и связано с заметным отклонением вольтамперной зависимости от закона Ома. Последнее вызвано увеличением подвижности ионов при напряженности электрического поля более 100 кВ/см. Ограниченность зоны высокой напряженности поля у электродов с малым радиусом кривизны и наличие явлений вызывающих более выраженную нелинейность нагрузки (предразрядные процессы в жидкости) исключают возможность оценить высоковольтную электропроводность жидкости в резко неоднородном поле по известной величине приложенного напряжения и зависимости подвижности ионов от напряженности электрического поля.

Низковольтная электропроводность воды, водных растворов и электролитов носит ионный характер. Основными носителями тока являются ионы диссоциированных молекул воды и растворимых в воде примесей. В полярных жидкостях подвижности ионов близки, так как все они окружены сольватными оболочками и в области изменения до 100 МГц подвижность ионов не зависит от частоты приложенного переменного напряжения.

Использование электровзрыва в электроимпульсных (ЭИ) технологических установках связано с использованием не только слабопроводящих жидкостей, но и жидкостей, обладающих значительной низковольтной проводимостью, например, технической воды. При этом потери энергии могут достигать уровня запасенной энергии.

Технологически приемлемой средой в рабочей разрядной камере является техническая вода, имеющая относительно высокую электрическую проводимость ($\sim 10^{-3}$ - 10^{-2} Ом·см). В такой среде существенное значение имеет растекание импульсных токов как с электродов, так и с поверхности плазменных образований, формируемых в разрядном промежутке в процессе пробоя. Это приводит к значительным потерям энергии в разрядном промежутке на стадии формирования канала пробоя и локально меняет

свойства и характеристики жидкости (температуру, проводимость и другие), вплоть до ее фазовых превращений [16]. Величина предпробивных потерь (энергия формирования фронта импульса напряжения) может быть рассчитана по строгим соотношениям для принятой схемы замещения контура генератора (см, например, в [16] для C-L-R=C или C-L-R) или оценена в приближениях (по уровню амплитуды напряжения $-U_\phi$ и времени фронта - t_ϕ) для выбранной формы волны напряжения:

$$W_\phi = \frac{U_\phi^2}{R}$$

если принимать $U(t) = U_\phi (1 - \cos \omega t)$

$$W_\phi = \frac{U_\phi^2}{R} \cdot 0,333t_\phi$$

если принимать $U(t) = (U_\phi/t_\phi)t$, где R -эквивалентное сопротивление жидкости в разрядном промежутке.

Для снижения потерь энергии электроды максимально изолируют от жидкости, но в пределах, позволяющих предотвратить возникновение разрядов по поверхности изоляции, выводящих ее из эксплуатации. Если применять средние рабочие градиенты (~ 100 кВ/см) и разрядные промежутки $\sim 20-40$ мм, то удастся свести потери энергии до 50-100 Дж.

При работе по пробую и разрушению гранита и бетона в воде - вода и электродная система, существенно влияют на форму импульса напряжения [18]. Проведенные исследования [19] показали, что на снижение амплитуды и искажение формы импульса влияют следующие основные факторы; геометрия межэлектродного промежутка, удельное сопротивление воды и параметры разрядного контура ГИН.

Разрядное сопротивление, в качестве которого выступает электродная система, укорачивает длительность импульса и играет важную роль в перераспределении напряжения между нагрузкой и источником. Так в [18,19] указывается, что при сопротивлении электродной системы в воде менее 100

Ом необходимо использовать специальные схемы генераторов для получения необходимой формы импульса на нагрузке, т.к. при пробое на ФИН необходима значительная крутизна импульса, которую затруднительно получить на ГИН типа Аркадьева- Маркса. В более поздней работе [20] указывается, что соотношение между сопротивлением нагрузки $R_{\text{нагр}}$ и волновым сопротивлением ГИН $Z_{\text{гин}}$ должно быть не менее 8-10 и при этом снижение напряжения на нагрузке незначительно.

Сопротивление электродной системы зависит от протекающего тока, который определяется плотностью тока на элементах электродной системы и площадью электродов и определяет потери энергии в предпробивной стадии:

$$I_{\text{нагр}} = j \cdot F,$$

где j - плотность тока; F - площадь электродов.

В свою очередь плотность тока j зависит от напряженности электрического поля на элементах электродной системы.

$$j = \gamma \cdot E,$$

где γ - удельная проводимость среды; E - напряженность электрического поля на электродной системе.

Напряженность электрического поля определяется геометрическими размерами, конфигурацией электродной системы, и величиной приложенного к ней напряжения:

$$E = k \cdot U/d,$$

где U - напряжение на электродной системе: k - коэффициент неоднородности электрического поля, который определяется геометрическими размерами электродов, S - расстояние между электродами.

Получим, что ток на нагрузке определяется следующим соотношением:

$$I_{\text{нагр}} = k\gamma UF / d$$

Для уменьшения потерь энергии в предпробивной стадии при разрушении горных пород в воде предлагалось изолировать электроды для уменьшения по верхности растекания, сокращать время до пробоя за счет использования импульсов с малой длительностью фронта [18,22] или использовать пробой - на ПИНФ [23].

Как установлено в работах [18,19,24], величина удельного сопротивления воды оказывает значительное влияние на величину сопротивления электродной системы: увеличение удельного сопротивления воды приводит к линейному возрастанию сопротивления электродной системы.

В работах [18,22] показано, что увеличение межэлектродного расстояния не влияет на величину сопротивления электродной системы в воде.

В процессе работы были получены результаты по влиянию размеров и формы электродов в предпробивной стадии на сопротивление электродной системы [25]. Исходная площадь внешнего электрода составляла 1170 см^2 . При этом сопротивление наконечника составляло 12 Ом, Уменьшение площади электродов до 280 см^2 (в 4,2 раза) увеличило сопротивление на 1,35 раза (до 16,2 Ом). Замена элементов наконечника с острыми гранями на круглые стержни диаметром 10 мм увеличило сопротивление наконечника еще в 3,1 раза (до 50 Ом), несмотря на увеличение площади электродной системы. На основании полученных данных можно утверждать, что напряженность поля на элементах электродной системы при пробое горных пород существенно влияет на величину сопротивления. В предпробивной стадии высокая напряженность поля на электродах приводит к зажиганию разряда в воде в виде стримерной короны [26,27], которая увеличивает активную составляющую токов утечки. Это приводит к возрастанию потерь энергии и снижению сопротивления электродной системы.

С положительного электрода канал развивается вследствие автоионизации в жидкости, а с отрицательного – из-за ударной ионизации.

Давление в канале достигает тысяч атмосфер, он расширяется с одновременным увеличением в нем тока за счет ударной и термической ионизации. Первичный канал преобразуется в высокопроводящий лидерный канал, с головки которого прорастают первичные каналы, перерабатывающиеся вновь в лидеры [26].

Активная (лидерная) стадия пробоя сопровождается значительным изменением электрических характеристик. Существенным можно считать тот факт, что по мере роста лидеров поле между отрицательным электродом и лидерной "коронай" выравнивается, переходя от резконеоднородного к неоднородному. Основное влияние на динамику лидерной стадии оказывает электропроводность воды и начальная напряженность у электрода-стержня [26].

В лидерной стадии сопротивление межэлектронного промежутка резко падает.

После полного пробоя промежутка между электродами в нем остается много парогазовых пузырьков, которые при частоте приложения импульсов высокого напряжения $f \leq 4$ Гц успевают распасться. Однако при частоте $f \geq 4$ Гц часть пузырьков в объеме воды остается, что снижает электрическую прочность воды [2], но наличие циркуляции жидкости позволяет существенно увеличить частоту приложения импульсов высокого напряжения вплоть до 10 Гц.

В трансформаторном масле образуются твердые продукты разложения масла, и для восстановления электрической прочности необходимо время до десятков секунд или принудительная циркуляция жидкости [28].

Вода активно растворяет газы. Газы удерживаются в объемах между молекулами воды и образуют в электрическом поле микропузырьки у поверхности электродов, что снижает электрическую прочность воды при временах воздействия напряжения больше 1 мкс.

В качестве источников напряжения и тока в электрофизических установках часто используются генераторы Аркадьева-Маркса, что позволяет для устройств с водяной изоляцией получать импульсные напряжения короче 1 мкс [28].

Для всех исследованных промежутков с резко неоднородным полем наблюдается аномальная зависимость времени разряда t_p от величины приложенного напряжения (рис. 12). Это время плавно уменьшается с увеличением приложенного напряжения до некоторого предела, при достижении которого наблюдается скачкообразное уменьшение времени разряда. Это время называют $t_{кр}$. Это объясняется уменьшением времени формирования разряда с увеличением приложенного напряжения U и преобразованием кустообразной фигуры разряда в древовидную при критическом значении приложенного напряжения $U_{кр}$ [17].

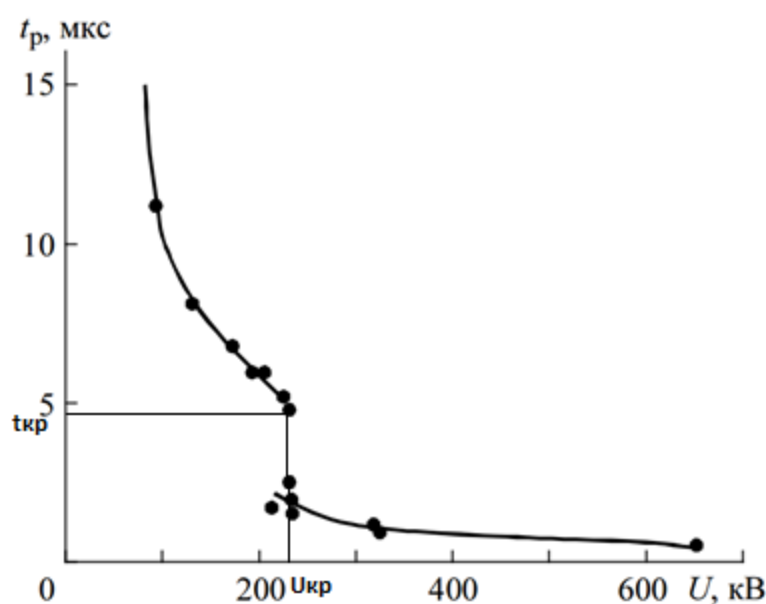


Рис. 12. Зависимость времени разряда от напряжения в резконеоднородном поле.

Преобразование кустообразной фигуры в древовидную обусловлено токовой нестабильностью в разрядных каналах. При низком напряжении

токовая нестабильность развивается медленно и кустообразная фигура имеет достаточно времени для перекрытия межэлектродного промежутка. При больших приложенных напряжениях нестабильность развивается очень быстро и размер кустообразной фигуры до ее преобразования в древовидную форму очень мал [17].

Следует отметить, что, несмотря на некоторые нюансы, структура и основные закономерности разряда в воде и минеральных маслах подобны [17].

В целом процесс развития электрического разряда в жидкости является сложным и включает в себя элементы и "пузырькового", и "ионизационного" механизмов пробоя.

Отмеченные выше особенности развития разряда в воде при уменьшении амплитуды воздействующего напряжения и, как следствие, увеличения времени до пробоя подтверждается вольтсекундными характеристиками технической воды (удельное сопротивление воды порядка $\rho=4,1 \cdot 10^3$ Ом·см) в диапазоне изменения расстояний между электродами от 1,0 см до 9,0 см (рис. 13) [29]. Увеличение времени до пробоя вызывает сближение вольт-секундных характеристик для разных расстояний. На рис. 13 пунктиром отмечены временные уровни 100 % электрического пробоя воды, которые соответствуют критическому времени $t_{кр}$ на рис. 13. Уменьшение амплитуды напряжения приводит к увеличению времени до пробоя и к изменению характера развития разряда: свечение канала разряда изменяется с фиолетового (при времени меньше $t_{кр}$) до красного (при времени больше $t_{кр}$), при этом на осциллограмме тока отсутствует резкое возрастание тока при пробое.

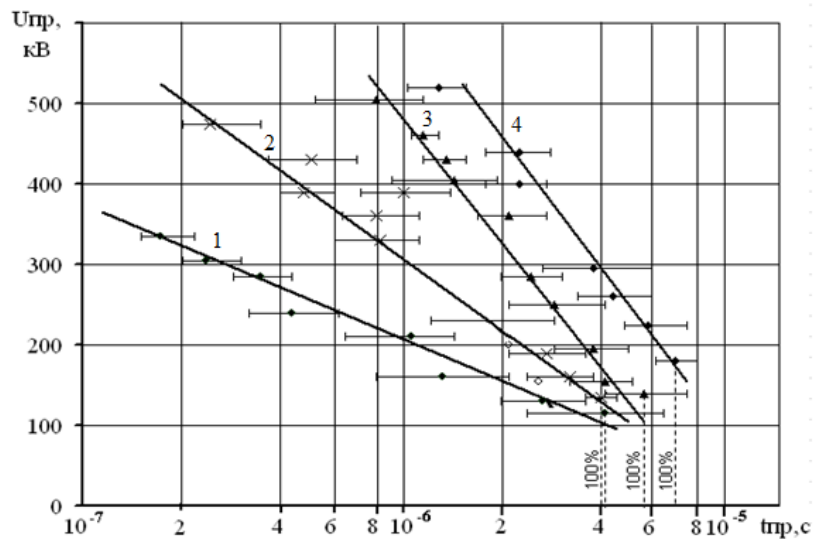


Рис. 13. Вольт-секундные характеристики воды $\rho=4,1 \cdot 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$:
 1 – $S=1,0 \text{ см}$; 2 – $S=2,0 \text{ см}$; 3 – $S=5,0 \text{ см}$; 4 – $S=9,0 \text{ см}$

Когда изменяется механизм развития разряда, электрическая форма разряда переходит в тепловую, что характерно для электрогидравлического эффекта.

Перед пробоем рабочего промежутка в воде протекает электрический ток, зависящий от геометрии электродов и удельного сопротивления воды. Этот ток приводит к потерям энергии и снижению напряжения на рабочем промежутке.

При пробое воды можно воспользоваться начальной напряженностью электрического поля, при которой создаются условия необходимые для возникновения лидеров. Для промежутков сантиметрового диапазона с неоднородным полем начальная напряженность поля при тепловом пробое принималась равной 36 кВ/см. Однако эта величина может изменяться в зависимости от условий пробоя. Более высокая температура воды у электродов и на их поверхности вызывает снижение начальной напряженности теплового пробоя [30].

В энергоемких установках электроды имеют большие площади (квадратные метры), что сказывается на уменьшении пробивной

напряженности E_B . Типичные значения рабочих напряженностей при электрической форме пробоя обычно находятся в диапазоне 70...130 кВ/см при запасе электрической прочности около 30 %, т. е. при напряженности электрического поля E меньше пробивной напряженности E_B на ~30 %. Зависимость пробивной напряженности E_B от активной площади электродов S слабее, чем от времени до пробоя t_{ϕ} в диапазоне 0,63...1,0 мкс на фронте импульса [28]. Зависимость пробивной напряженности воды от площади электродов приведена на рис. 14 [17].

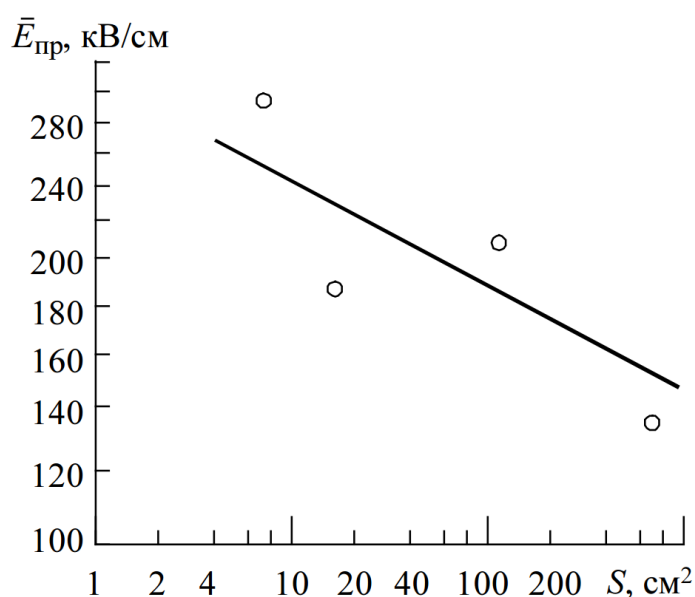


Рис. 14. Зависимость пробивной напряженности воды E_B от площади электродов [17].

Различие в величинах пробивного напряжения при положительной и отрицательной полярностях острейшего электрода лежит в пределах от единиц процентов до нескольких крат. Эффект полярности более ярко проявляется в жидкостях с высокой диэлектрической проницаемостью.

На полигоне в Томском политехническом университете пробурены скважины глубиной 10...14 м общим объемом более 100 погонных метров при использовании воды в качестве рабочей промывочной жидкости.

Диаметр буровых наконечников не превышал $D_{\text{НАК}} \leq 140$ мм, а расстояние между электродами бурового наконечника $S \leq 30$ мм. Удельное сопротивление воды в начальный момент бурения $\rho \leq 10^5$ Ом·см, которое быстро уменьшалось до $\rho = 10^4$ Ом·см из-за контакта с горной породой и металлом бурового снаряда и насоса. Бурились горные породы: окварцованный песчаник, глинистые сланцы, диабаз. В таблице 1 приведены результаты бурения.

Таблица 1. Результаты бурения

Характеристика бурения	Единицы измерения	Значения
Амплитуда импульса напряжения	кВ	280...330
Емкость ГИН в разряде	Мкф	0,025
Длительность фронта импульса	Мкс	0,12
Частота следования импульсов	имп./с	10
Расстояние между электродами	Мм	20...30
Удельное сопротивление воды	Ом·см	$(2...4) \cdot 10^4$
Средняя скорость бурения	м/час	1...3,6

Удельное электрическое сопротивление воды ρ является значимой ее характеристикой. Удельное сопротивление ρ воды определяется количеством и движением ионов растворенного в ней вещества, собственной проводимостью из-за диссоциации молекул воды и создаваемой в электрическом поле эмиссии в нее зарядов с электродов. Более того, вода является одним из лучших растворителей в той или иной мере практически всех веществ, в том числе, наиболее часто применяемых в качестве материала электродов различных марок нержавеющей стали.

В работе [31] получены данные о влиянии диэлектрической проницаемости ϵ жидкостей на условия развития разряда в больших разрядных промежутках (длина разрядных промежутков $S \leq 50$ мм). Испытывались трансформаторное масло, этиловый спирт, глицерин, дистиллированная вода. Пробой осуществлялся на импульсах 1,5/70 мкс в электродной системе стержень-плоскость при положительной и отрицательной полярностях жидкостей. На рис. 15 представлены зависимости средней пробивной напряженности от ϵ . Полярность воздействующего напряжения оказывает решающее влияние на пробивную напряженность.

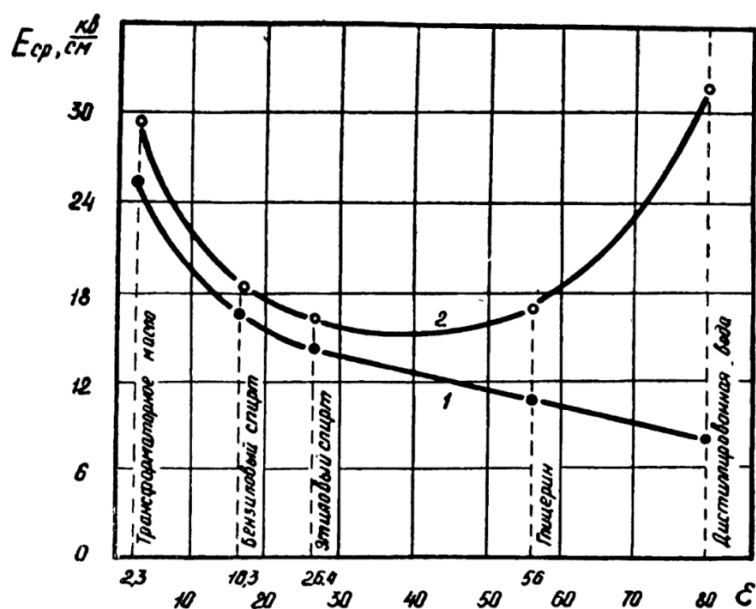


Рис. 15. Зависимость средней пробивной напряженности от диэлектрической проницаемости диэлектрика и полярности электродов в системе электродов стержень плоскость: 1 – положительная полярность стержневого электрода; 2 – отрицательная полярность стержневого электрода [31].

Вода является сильно полярной жидкостью. В полярных жидкостях с высокой проводимостью через лидерный канал протекает не только ток ионизации, но и емкостный ток и ток проводимости. Величина суммарного

тока, протекающего через межэлектродный промежуток в значительной мере определяется физико-химическими свойствами жидкости. В таблице 1 приведены значения суммарного тока для ряда жидкостей при положительной и отрицательной полярностях стержневого электрода при расстоянии между электродами $S=50$ мм [31].

Таблица 2. Предпробивной суммарный ток различных жидкостей (С – стержень, П – плоскость).

Жидкость	Разрядный промежуток	Суммарный предпробивной ток, А	ρ , Ом·см	ϵ
Трансформаторное масло	+С-П	0,1	$1,0 \cdot 10^{14}$	2,3
	-С+П	0,08		
Этиловый спирт	+С-П	8,0	$6,6 \cdot 10^6$	26,4
	-С+П	9,0		
Дистиллированная вода ($\rho=3 \cdot 10^5$ Ом·см)	+С-П	10,0	$3,0 \cdot 10^5$	80
	-С+П	16,0		
Водопроводная вода ($\rho=3 \cdot 10^3$ Ом·см)	+С-П	80,0	$3,0 \cdot 10^3$	80
	-С+П	90,0		
Очищенная вода ($\rho=3 \cdot 10^4$ Ом·см)	-С+П	53,0	$1,0 \cdot 10^4$	80

Из таблицы 2 следует, что для воды в предпробивной стадии суммарный ток в межэлектродном промежутке практически на два порядка и более больше, чем в трансформаторном масле, что и определяет потери энергии перед пробоем в воде.

Повышение удельного сопротивления ρ воды очень тщательной ее деионизацией не является способом увеличения импульсной электрической прочности воды при временах нарастания импульса порядка 1 мкс, а лишь удорожает стоимость установки и ее эксплуатацию, усложняет трудоемкость обслуживания. Оптимальное значение удельного сопротивления ρ должно выбираться с учетом допустимых потерь энергии или по допустимому

снижению амплитуды напряжения на выводах линии при передаче по ней энергии [28].

Напряжение на нагрузке в воде U_2 по сравнению с напряжением источника, например генератора импульсных напряжений (ГИН) – U_1 снижается следующим образом [28]:

при $\rho=1$ МОм·см напряжение U_2 меньше напряжения U_1 на 6,8 %,

при $\rho=2$ МОм·см напряжение U_2 меньше напряжения U_1 на 3,4 %,

при $\rho=6$ МОм·см напряжение U_2 меньше напряжения U_1 на 1,1 % [28].

На основании результатов работы [28] можно оценить величину посадки (снижения) напряжения источника напряжения (ГИН) на нагрузке при $\rho=10^4$ Ом·см. Оценка снижения напряжения на нагрузке по данным работы [28] показывает, что при $\rho=10^4$ Ом·см напряжение U_2 будет ниже U_1 на 33 %.

Кроме потерь энергии в предпробивной стадии на величину снижения амплитуды напряжения влияет соотношение сопротивления нагрузки R и волнового сопротивления ГИН $Z_{\text{ГИН}}$, без учета длинной передающей линии от ГИН к нагрузке. Установлено, что при соотношении $R/Z_{\text{ГИН}} \geq 5$ снижение амплитуды напряжения составляет 15...20 % [12]. Дальнейшее увеличение этого соотношения слабо влияет на величину снижения напряжения. Величины снижения напряжения, полученные по результатам работы [28] и в работе [12], хорошо соотносятся друг с другом. (При $R=Z_{\text{ГИН}}$ снижение напряжения на нагрузке составит 50 %).

Электрическая прочность воды на импульсном напряжении является главной ее характеристикой. В настоящее время не найдена количественная аналитическая зависимость влияния совокупности множества факторов состояния воды на ее электрическую прочность. Экспериментальные данные многих авторов по влиянию удельной проводимости воды ρ на электрическую прочность воды и водных электролитов систематизированы в работе [17].

Для хорошо обезгаженной воды электрическая прочность не зависит от температуры вплоть до кипения. Твердые проводящие и диэлектрические частицы, находящиеся в воде, при временах воздействия напряжения $t < 10^{-6}$ с практически не влияют на электрическую прочность воды. В воде, сильнее, чем в газе, проявляется зависимость электрической прочности от микро и макрогеометрии электродов. При любой конфигурации поля увеличение расстояния между электродами снижает пробивную напряженность поля E_v .

Дальнейшее развитие ЭИ способа разрушения связано с необходимостью использовать в качестве изолирующей среды экологически безопасную и дешевую воду. Использование технической воды приводит к значительному снижению себестоимости разрушения, улучшению условий эксплуатации ЭИ установок и повышению безопасности при проведении работ. Поэтому в настоящее время реализация использования воды в качестве изоляционной жидкости при ЭИ разрушении горных пород (бурении, резании) является одной из актуальных задач.

1.6 Цель работы

Основным инструментом, который разрушает горную породу, является электроимпульс, создаваемый буровым наконечником. Это разрушение по сравнению с известными механическими и другими способами разрушения принципиально новое в сфере бурения. В основе разрушения электроимпульсного бурения используется плазма канала разряда. Для формирования канала разряда в соответствии с формой, глубиной буровой скважины необходим буровой наконечник, который создает условия для формирования канала разряда там, где необходимо. В настоящее время единой методики расчета бурового наконечника нет, поэтому при проектировании приходится каждый раз моделировать новую конструкцию электродов. В результате такого подхода появляется возможность варьировать конструкции буровых наконечников под конкретный запрос.

Выбор того или иного варианта требует экономического расчета, который должен основаться на тех оптимальных критериях которые задаются заказчиком.

Целью данной работы является расчёт и конструирование электродной системы электроимпульсного бурового снаряда большого диаметра в воде.

2. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО РАЗРУШЕНИЯ В ВОДЕ

Для бурения скважин основной элемент исполнительного органа (бурового снаряда) - буровой наконечник сконструирован в виде системы объединенных в одну конструкцию потенциальных и заземленных электродов, равномерно распределенных по забою с примерно одинаковыми расстояниями между ними, рис. 16.



Рис. 16. Внешний вид бурового наконечника диаметром 150 мм

Конструктивные особенности рабочих электродов/буровых наконечников во многом определяют производительность и энергоемкость процесса разрушения горной породы на забое. При разработке бурового наконечника серьезные затруднения вызывает оптимизация основных параметров буровых наконечников: размеров и формы электродов, расстояния между электродами, взаимного расположения электродов в наконечнике, площади торцевой части наконечника [32,33]. Для такой оптимизации потребовались экспериментальные исследования режимов ЭР-

бурения при изменении энергии импульса и межэлектродного расстояния в широком диапазоне.

При выборе рациональных размеров электродов проявляются две тенденции: увеличение площади торцевой поверхности электродов сопровождается возрастанием их механической прочности и срока службы бурового наконечника; с другой стороны, это может привести к образованию зон под электродами с пониженной вероятностью пробоя и разрушения, вследствие чего происходит «зависание» бурового снаряда.

При разработке наконечников для ЭР-бурения, как правило, рассматриваются электроды двух форм - стержневые [32,33] и пластинчатые. При бурении скважин большого диаметра оказалась эффективной конструкция, представляющая собой своеобразную комбинацию стержневых и пластинчатых электродов[34].

Результаты бурения наконечниками с электродами различной формы показали, что при $S = 20$ мм скорость бурения при пластинчатой форме электродов на 10-20 % выше, а энергозатраты на 15-45 % ниже по сравнению с наконечниками со стержневыми электродами. Для обеих форм электродов при заданных S и n (количество импульсов) увеличение диаметра бурового наконечника вызывает увеличение размеров (площади) электродов, контактирующих с забоем скважины, и, как следствие, увеличение пауз или прекращение проходки («зависание» БС).

Потребовалось определить влияние формы электродов на характеристики разрушения для наконечников с существенно большими расстояниями между электродами ($S = 100$ мм), характерными для коронок при бурении скважин большого диаметра. Исследованы три типа электродных систем: «стержень-стержень» с диаметром стержней 10 мм, «стержень-пластина» (диаметр стержня 10 мм, пластина длиной 250 мм, шириной 20 мм, толщиной 5 мм), «пластина-пластина» (длина пластин 90 мм, ширина 20 мм, толщина 5 мм). Диаметр стержней, ширина и длина пластин являются рабочими параметрами электродов. Количество

экспериментов для каждой электродной системы составляло 3-7. Результаты экспериментов обобщены в табл. 3, в которой даны средние значения всех рассматриваемых параметров разрушения и всех электродных систем.

Таблица 3. Разрушение гранита: $S = 100$ мм, разные электродные системы, средние значения измеряемых величин.

Электроды	n, имп.	$U_{пр}$, кВ	$I_{пр}$, кА	$t_{пр}$, мкс	W, Дж	W_s , Дж/мм	Q , см ³ /имп	$Q_{уд}$, Дж/см ³	Размер откольной воронки			
									L, мм	B, мм	H, мм	V_3 , см ³
Стержень- стержень	1	601	16,2	0,44	5925	59,2	2,9	2049	38,3	20,7	3,8	2,7
	3	525	17,5	0,29	5978	59,8	16,7	357,6	110,4	73,4	9,3	50,5
	6	513	16,9	0,26	5892	58,9	18,7	315,0	130,4	96,5	35,8	112,8
	10	515	17,1	0,25	6114	61,1	17,5	349,4	147,0	107,0	41,0	175,0
Стержень- пластина	1	561	18,8	0,28	7202	72,0	13,4	537,5	93,0	52,0	14,4	13,4
	3	540	18,9	0,28	7115	71,1	28,9	246,2	145,0	61,6	21,3	86,7
	6	547	17,7	0,29	7026	70,2	26,6	264,1	159,2	98,4	36,0	160,0
	10	552	17,3	0,30	6861	68,6	29,7	231,0	158,3	146	40,2	297,5
	16	537	17,6	0,31	6826	68,2	23,3	292,7	178,0	176	48,0	372,0
Пластина- пластина	1	554	18,4	0,31	6219	62,2	2,6	249,7	43,0	14,3	6,0	2,6
	3	522	18,6	0,29	6145	61,1	33,4	193,6	133,6	94,6	21,6	100,3
	6	500	18,3	0,28	6268	62,7	33,5	195,0	146,6	165,0	31,3	201,6
	10	513	18,2	0,29	6297	63,0	40,0	162,9	183,3	207,6	40,6	400,0
	16	519	17,5	0,28	6138	61,4	33,4	183,8	180,0	210,0	46,0	550,0

По итогам испытаний коронок с различными геометрическими параметрами можно сформулировать следующую рекомендацию - при конструировании буровой коронки следует стремиться к наибольшей площади торцевого сечения электродов, но не превышающей допустимую, задаваемую условием полной выработки подэлектродного объема, т. е. недопущение зависания электродов. Для выполнения этих условий в коронках со стержневыми электродами их диаметр следует принимать из условия: $d_{эл} = 0,7S$, где S - расстояние между электродами [32]. Применение электродов разных сечений в однородном наконечнике нежелательно вследствие неравномерного распределения энергии искровых каналов по забою скважины. Разрушение более интенсивно вблизи электрода с меньшим сечением. Эти рекомендации относятся к буровым наконечникам для бурения скважин относительного малого диаметра (100-150 мм) и, как

правило, для цилиндрической (стержневой) формы электродов при малых расстояниях между ними. Для бурения глубоких скважин (3-4 км) большого диаметра (до 400 мм) требуются коронки большего диаметра и с большими расстояниями между электродами и, соответственно, с электродами иных форм и размеров.

2.1 Исходные данные для конструирования и расчета вариантов бурового наконечника

- Номинальное напряжение $U_{\text{гин}}=500$ кВ,
- Энергия в разряде $W_{\text{гин}}= 4300$ Дж
- Емкость ГИН в разряде $C_{\text{гин}}= 0,072$ мкФ
- Параметры электродной системы (наконечника) $D_{\text{нак}}=270$ мм.

2.2 Конструкция наконечника

Выбор расстояния между электродами требует обоснования и тщательного анализа совокупности параметров установки, конструкции бурового наконечника, горной породы и промывочной жидкости. На основании многолетнего опыта электроимпульсного бурения скважин в различных горных породах предложены следующие рекомендации при конструировании круглых (цилиндрических) буровых наконечников стержневого типа (аналог разрабатываемого для данного договора конструкции бурового наконечника).

Поскольку площадь разрушения горной породы на периферии забоя скважины больше, чем в зоне центрального электрода, необходимо, чтобы большее количество разрушающих импульсов происходило на периферии забоя. Для этого необходимо, чтобы расстояние между периферийными потенциальными и заземленными электродами было меньше, чем между центральным потенциальным и периферийными заземленными электродами в 1,1...1,2 раза. Исходя из конструктивных особенностей электродной

системы и возможных зон разрушения забоя, просчитаем два варианта бурового наконечника: вариант 1 – расстояние между центральным высоковольтным и заземленными электродами $S=100$ мм, расстояние между периферийными электродами, и вариант 2 – расстояние между центральным высоковольтным электродом и периферийными заземленными электродами $S_0=90$ мм, расстояние между периферийными электродами $S_1=75\dots 82$ мм (принимая расстояние $S_1=80$ мм).

2.2.1 Вариант 1

Исходные данные для расчета:

- диаметр наконечника $D_{\text{нак}}=270$ мм;
- число электродов – 7;
- расстояние между электродами $S\approx 100/90$ мм;
- количество заземленных электродов – 3;
- количество высоковольтных электродов 4.

Заземленные электроды

Предварительная эскизная прорисовка показывает, что для заземленных электродов целесообразно взять плоскую сталь толщиной электрода 1,4 см, ширина – 4 см, высота электрода $L_3=15$ см.

Рассчитаем площадь заземленного электрода:

$$F_3 = (2 \cdot 1,4 + 2 \cdot 4,0) \cdot 15 = 162 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Общая площадь трех заземленных электродов

$$\Sigma F_3 = 162 \cdot 3 = 486 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Высоковольтные электроды

Высоковольтные электроды включают в себя три высоковольтных электрода, расположенных по краям, и один центральный электрод. Целесообразно высоковольтные электроды выполнить цилиндрическими:

- диаметр электродов $D_{кр}=3,0$ см;
- длина крайних электродов $L_{к}=12$ см;
- длина центрального электрода $L_{ц}=8$ см;
- максимальный диаметр центрального электрода $D_{ц}=7,0$ см.

Площадь одного крайнего высоковольтного электрода:

$$F_{кв} = \pi \cdot D \cdot L_{к} = 3,14 \cdot 3 \cdot 12 = 113 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Площадь трех крайних высоковольтных электродов:

$$\Sigma F_{кв} = F_{кв} \cdot 3 = 113 \cdot 3 = 339 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Площадь центрального высоковольтного электрода :

$$F_{ц} = \pi \cdot D \cdot L_{ц} = 3,14 \cdot 7 \cdot 8 = 175,8 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Общая площадь всех высоковольтных электродов равна:

$$F_{в} = \Sigma F_{кв} + F_{ц} = 339 + 175,8 = 514,8 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Суммарная площадь металла наконечника:

$$\Sigma F = \Sigma F_{з} + F_{в} = 486 + 514,8 = 1000,8 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Таким образом, площадь, по которой будет протекать ток утечки определяемый площадью электродов бурового наконечника, можно определить, как средняя площадь двух электродных сборок – высоковольтных электродов и заземленных электродов $F_{ср}$:

$$F_{ср} = \Sigma F / 2 = 1000,8 / 2 \approx 500 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Оценим активное сопротивление наконечника $R_{нак}$ (статическое):

$$R_{нак} = \rho_{\epsilon} \cdot \frac{S}{F_{ср}} = 10^4 \cdot \frac{10}{500} = 200 \text{ (Ом)},$$

где ρ_{ϵ} – удельное сопротивление воды; S – усредненное расстояние между высоковольтными электродами бурового наконечника и заземленными; $F_{ср}$ – средняя площадь, по которой протекает ток между высоковольтными и заземленными электродами бурового наконечника.

Оценим емкость наконечника:

$$C_{\text{нак}} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 F_{\text{ср}}}{S} = \frac{80 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 500 \cdot 10^{-4}}{10^{-1}} \approx 354 \text{ (нФ)},$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для воды $\varepsilon=80$); ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума ($\varepsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); $F_{\text{ср}}$ – средняя площадь, по которой протекает ток между высоковольтными и заземленными электродами бурового наконечника.

На рис.17 приведено эскизное решение данного наконечника.

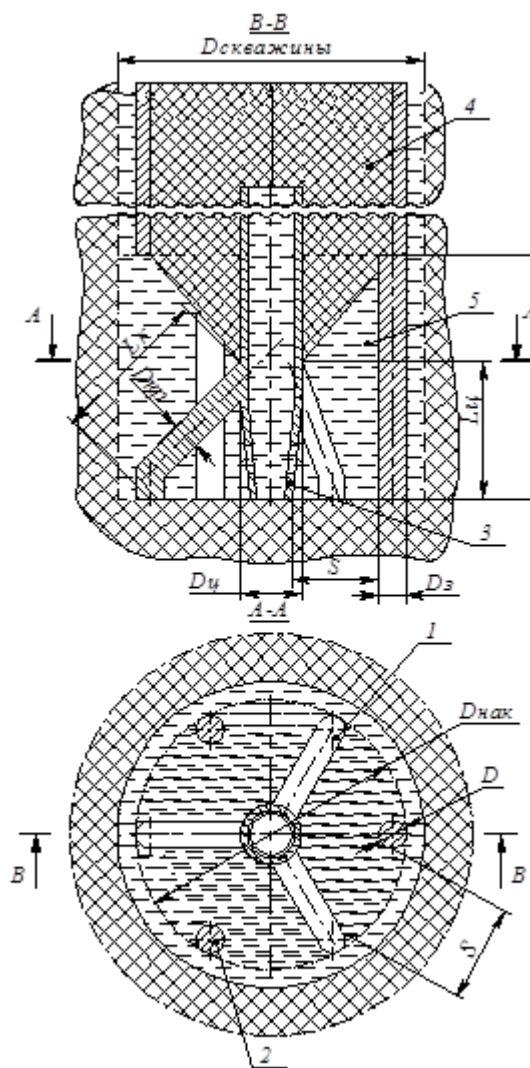


Рис. 17 а. Эскиз стержневого бурового наконечника (вариант 1): 1 – высоковольтные электроды, 2 – заземленные электроды, 3 – центральный электрод бурового наконечника, 4 – изолятор бурового наконечника, 5 –

промывочная жидкость (вода), S – расстояние между высоковольтными электродами 1 и заземленными электродами 2; D_3 – диаметр заземленных электродов; $D_{Ц}$ – диаметр центрального электрода; $D_{КР}$ – диаметр крайних высоковольтных электродов; L_3 – длина заземленных электродов; L_K – длина крайних высоковольтных электродов; $L_{Ц}$ – длина центрального электрода; $D_{НАК}$ – общий диаметр бурового наконечника; $D_{СКВ}$ – диаметр скважины.

2.2.2 Вариант 2

Исходные данные для расчета:

- диаметр наконечника $D_{НАК}=270$ мм;
- число электродов – 9;
- расстояние между электродами $S=90/80$ мм;
- количество заземленных электродов – 4;
- количество высоковольтных электродов 5.

Заземленные электроды

Предварительная эскизная прорисовка показывает, что для заземленных электродов целесообразно взять сталь: диаметр электрода 16 мм, высота электрода $L=170$ мм.

Рассчитаем площадь заземленного электрода:

$$F_3 = \pi \cdot 1,6 \cdot 17 = 85,4 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Общая площадь четырёх заземленных электродов

$$\Sigma F_3 = 85,4 \cdot 4 = 341,6 \approx 342 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Высоковольтные электроды

Высоковольтные электроды включают в себя четыре высоковольтных электрода, расположенных по краям, и одного центрального электрода. Для простоты изготовления целесообразно высоковольтные электроды выполнить цилиндрическими:

- диаметр электродов $D_{\text{кр}}=1,6$ см;
- длина крайних электродов $L_{\text{к}}=13,0$ см;
- длина центрального электрода $L_{\text{ц}}=11,0$ см;
- диаметр центрального электрода $D_{\text{ц}}=7,0$ см.

Площадь одного крайнего высоковольтного электрода:

$$F_{\text{к}} = \pi \cdot D \cdot L_{\text{к}} = 3,14 \cdot 1,6 \cdot 13 = 65,3 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Площадь четырех крайних высоковольтных электродов:

$$\Sigma F_{\text{к}} = F_{\text{к}} \cdot 4 = 65,3 \cdot 4 = 261,2 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Площадь центрального высоковольтного электрода:

$$F_{\text{ц}} = \pi \cdot D \cdot L_{\text{ц}} = 3,14 \cdot 7,0 \cdot 11 = 241,8 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Общая площадь всех высоковольтных электродов равна:

$$F_{\text{в}} = \Sigma F_{\text{к}} + F_{\text{ц}} = 261,2 + 241,8 = 503 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Суммарная площадь металла наконечника:

$$\Sigma F = F_{\text{з}} + F_{\text{в}} = 342 + 503 = 845 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Таким образом, площадь, по которой будет протекать ток утечки определяемый площадью электродов бурового наконечника, можно определить, как средняя площадь двух электродных сборок – высоковольтных электродов и заземленных электродов $F_{\text{ср}}$:

$$F_{\text{ср}} = \Sigma F / 2 = 845 / 2 \approx 423 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Оценим активное сопротивление наконечника $R_{\text{нак}}$ (статическое):

$$R_{\text{нак}} = \rho_{\text{в}} \cdot \frac{S}{F_{\text{ср}}} = 10^4 \cdot \frac{10}{423} = 236 \text{ (Ом)},$$

где $\rho_{\text{в}}$ – удельное сопротивление воды; S – усредненное расстояние между высоковольтными электродами бурового наконечника и заземленными; $F_{\text{ср}}$ – средняя площадь, по которой протекает ток между высоковольтными и заземленными электродами бурового наконечника.

Оценим емкость наконечника:

$$C_{\text{нак}} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 F_{\text{ср}}}{S} = \frac{80 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 236 \cdot 10^{-4}}{10^{-1}} \approx 167 \text{ (пФ)},$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для воды $\varepsilon=80$); ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума ($\varepsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); $F_{\text{ср}}$ – средняя площадь, по которой протекает ток между высоковольтными и заземленными электродами бурового наконечника.

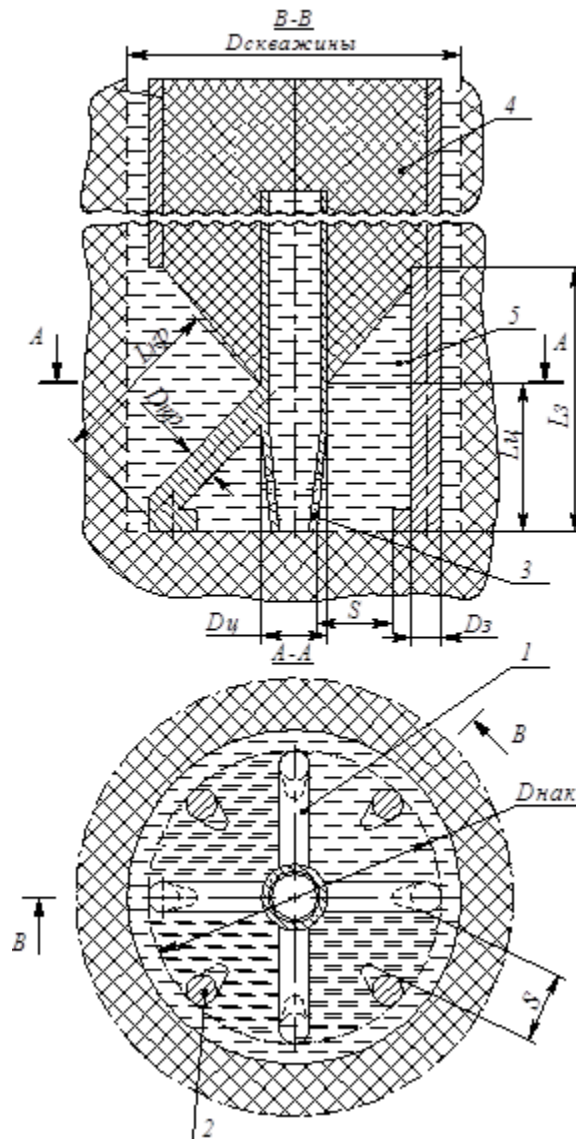


Рис. 17 б. Эскиз стержневого бурового наконечника (вариант 2): 1 – высоковольтные электроды, 2 – заземленные электроды, 3 – центральный электрод бурового наконечника, 4 – изолятор бурового наконечника, 5 – промывочная жидкость (вода); S – расстояние между высоковольтными

электродами 1 и заземленными электродами 2; D_3 – диаметр заземленных электродов; $D_{Ц}$ – диаметр центрального электрода; $D_{КР}$ – диаметр крайних высоковольтных электродов; L_3 – длина заземленных электродов; L_K – длина крайних высоковольтных электродов; $L_{Ц}$ – длина центрального электрода; $D_{НАК}$ – общий диаметр бурового наконечника; $D_{СКВ}$ – диаметр скважины

2.3 Размер бурового снаряда и возможность выноса разрушенной породы.

При выборе оборудования для ЭР-бурения скважин необходимо иметь подробную характеристику разрушенной горной породы (шлама) в целом и отдельных наибольших ее кусков, подлежащих перемещению из призабойной зоны на поверхность.

Проходка скважин состоит из двух основных этапов - отбойки горной породы от массива и извлечения отбитой породы на поверхность. Условия разрушения породы, очистки забоя и выноса разрушенной породы на поверхность при ЭР-бурении существенно отличаются от аналогичных процессов при традиционных механических способах бурения.

Непременным условием эффективного ЭР-бурения является своевременная и полная очистка призабойной зоны от продуктов разрушения горной породы и продуктов разложения промывочной жидкости за промежуток времени между импульсами. В противном случае происходит вторичное измельчение (переизмельчение) шлама или очередные разряды проходят по газопаровым выделениям (полостям). Все это приводит к снижению производительности, повышению энергозатрат и уменьшению скорости бурения.

Для выбора условий удаления бурового шлама (интенсивности промывки) необходимо знать его гранулометрический и фракционный состав, т. к. они в значительной степени определяют конструктивные

параметры бурового наконечника и бурового снаряда, предельную рабочую частоту посылки импульсов на забой.

Определим диаметр скважины для второго варианта наконечника:

$$D_{\text{скв}} = 1,2 \cdot D_{\text{нак}} = 1,2 \cdot 270 \text{ мм} = 324 \text{ мм}.$$

На рис. 18 приведены зависимости средних размеров наиболее крупных кусков шлама от расстояния между электродами при энерговыкладе $W_s = 18\text{--}22 \text{ Дж/мм}$ для гранита и микрокварцита, полученные как при эксперименте с двухэлектродной системой, так и при бурении.

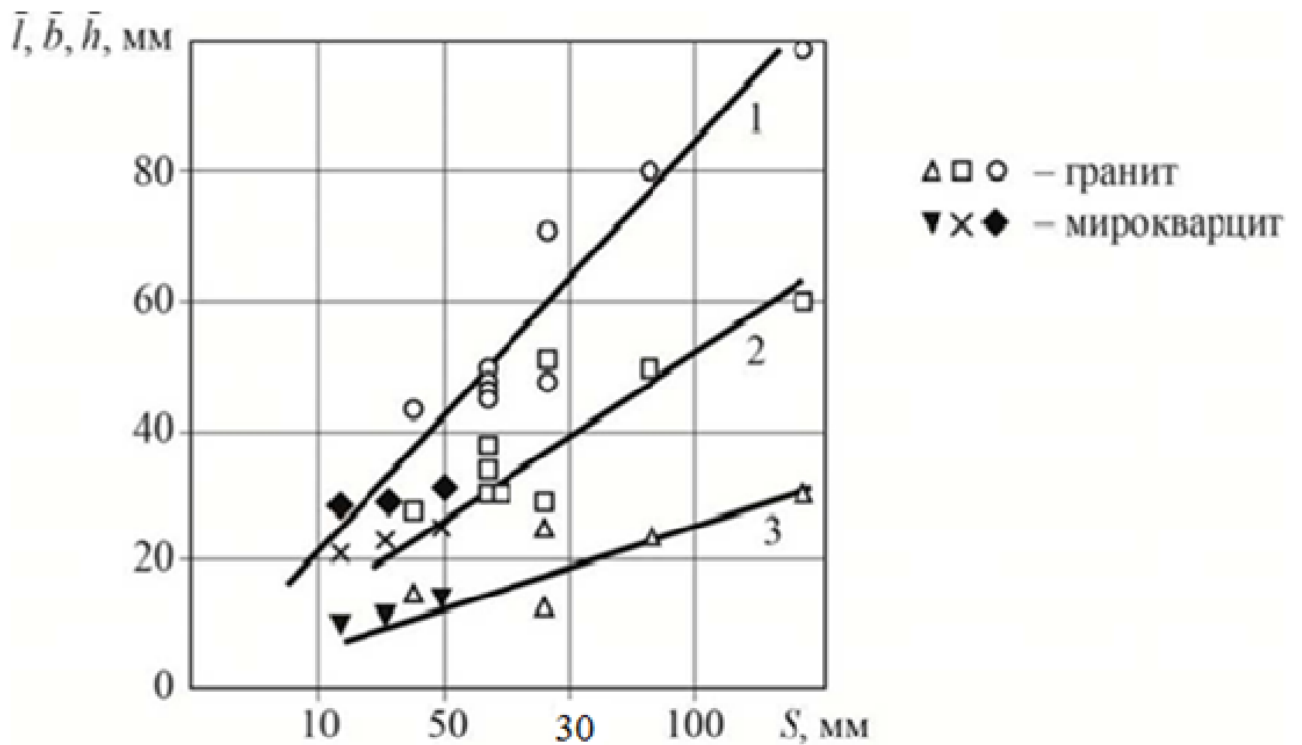


Рис. 18. Зависимость средних значений наибольших размеров кусков шлама для микрокварцита [33] и гранита от расстояния между электродами для $W_s = 18\text{--}22 \text{ Дж/мм}$: 1 - \bar{l} ; 2 - \bar{b} ; 3 - \bar{h}

Исходя из данных представленных на рис. 18, средний размер крупного шлама для $S=90 \text{ мм}$ будет равен $\bar{b}=50 \text{ мм}$.

Определим диаметр бурового снаряда:

$$D_{\text{снар}} = D_{\text{скв}} - 2 \cdot \bar{b} = 324 - 2 \cdot 50 = 224 \text{ мм}.$$

Подберем диаметр снаряда под размеры трубы:

$$D_{\text{труб.ст}} < D_{\text{снар}}$$

$$D_{\text{труб.ст}} = 219 \text{ мм}, D_{\text{снар}} = 224 \text{ мм}$$

где $D_{\text{труб.ст}}$ – стандартный диаметр трубы.

Стандартный диаметр трубы 219 мм., это способствует улучшению промывки скважины, вследствие отсутствия заклинивания шламом трубы при спуско-подъеме и при движении снаряда при буровом процессе.

2.4 Расчет характеристик бурового наконечника

2.4.1 Расчет индуктивности и волнового сопротивления

Волновое сопротивление ГИН оценим из осциллограмм полученных из опыта короткого замыкания ГИН по формуле Томпсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$, где T – период колебания тока в колебательном контуре, L – индуктивность колебательного контура, C – емкость колебательного контура. Вид одной из осциллограмм при проведении опыта короткого замыкания ГИН представлен на рис. 19.

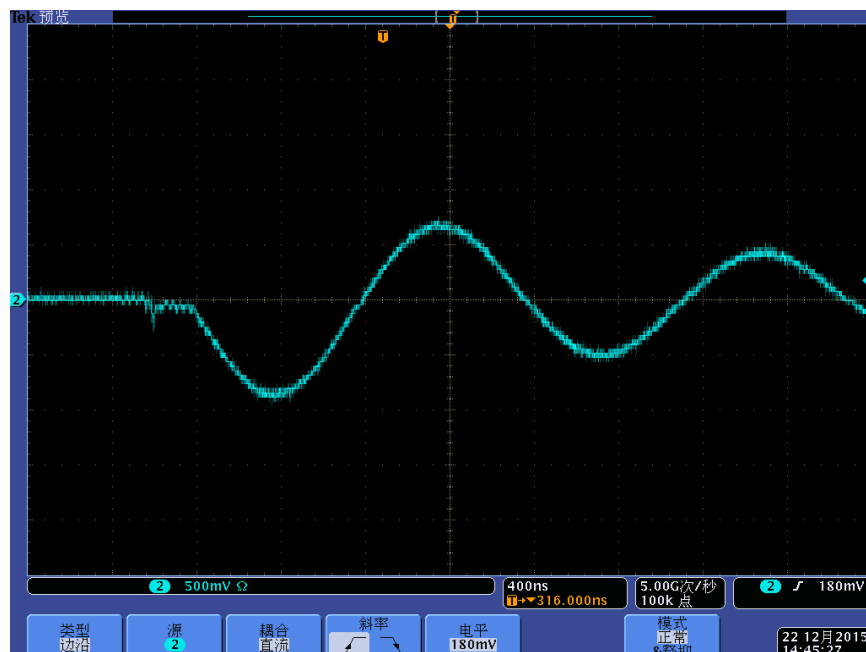


Рис. 19. Осциллограмма тока в режиме короткого замыкания ГИН (период колебания 1520 нс).

Выходная емкость ГИН $C_{\text{ГИН}} = 0,072 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$.

Период колебаний при коротком замыкании: $T = 1520 \text{ нс}$.

Отсюда по формуле $T = 2\pi\sqrt{LC}$ найдем индуктивность ГИН:

$$L_{\text{ГИН}} = \frac{T^2}{4\pi^2 C_{\text{ГИН}}} = \frac{(1520 \cdot 10^{-9})^2}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,072 \cdot 10^{-6}} \approx 0,81 \text{ мкГн}.$$

Теперь можно определить волновое сопротивление ГИН ($Z_{\text{ГИН}}$):

$$Z_{\text{ГИН}} = \sqrt{\frac{L_{\text{ГИН}}}{C_{\text{ГИН}}}} = \sqrt{\frac{0,81 \cdot 10^{-6}}{0,072 \cdot 10^{-6}}} \approx 3,35 \text{ Ом}.$$

Для второго варианта бурового наконечника соотношение $R_{\text{нак}}/Z_{\text{ГИН}} = 236/3,35 \approx 70$. Такое соотношение волнового сопротивления активного сопротивления наконечника и волнового сопротивления ГИН практически не скажется на снижении напряжения на выходе ГИН при работе с буровым наконечником в воде с удельным сопротивлением $\rho = 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ [12]. Однако, в процессе работы удельное сопротивление воды будет ухудшаться (на основании выше приведенных результатов работы [28], поэтому в дальнейших расчетах введем коэффициент запас примерно 20 %, т. е. будем считать, что напряжение на выходе ГИН будет на 20 % ниже теоретического, рассчитываемого исходя из зарядного напряжения конденсаторов ГИН и количества последовательно включаемых конденсаторов.

2.4.2 Расчет длительности фронта и импульса

Одним из критических условий осуществления электроимпульсного разрушения (внедрение канала разряда в твердый диэлектрик) является время воздействия импульса напряжения – длительность фронта импульса.

Нагрузка (емкость и сопротивление наконечника в воде) влияет на параметры импульса напряжения, сформированного ГИН на холостом ходу.

Расчетная оценка емкости электродной системы, без учета устройств, подводящих высокое напряжение к электродам наконечника, составляет $C_{\text{нак}}=167$ пФ, а сопротивление наконечника $R_{\text{нак}}=236$ Ом.

Оценим параметры импульса напряжения на нагрузке-наконечнике по [35]:

– длительность фронта импульса $t_{\text{ф}} \approx 3,25 \cdot R_{\text{ф}} \cdot C_{\text{ф}}$,

– длительность импульса на полувысоте импульса ГИН при расчетной нагрузке $R_{\text{р}}=236$ Ом. $t_{\text{и}} \approx 0,7 \cdot C_{\text{ГИН}} \cdot R_{\text{р}}$,

где $R_{\text{ф}}$ – фронтовое сопротивление (в нашем случае это сопротивление всех проводников ГИН и сопротивление искр 5 последовательно включенных разрядников ГИН, его можно оценить как $R_{\text{ф}}=0,1 \dots 0,2$ Ом [36]); $C_{\text{ф}}$ – фронтовая емкость ГИН, которая в нашем случае равна расчетной емкости бурового наконечника $C_{\text{нак}}=167$ пФ; $C_{\text{ГИН}}$ – разрядная емкость ГИН равная $0,072$ мкФ; $R_{\text{р}}$ – разрядное сопротивление ГИН, которое равно активному сопротивлению бурового наконечника $R_{\text{нак}}$ и равно 236 Ом.

Таким образом

$$t_{\text{ф}} \approx 3,25 \cdot R_{\text{ф}} \cdot C_{\text{ф}} = 3,25 \cdot (0,1 \dots 0,2) \cdot 167 \cdot 10^{-12} = (54 \dots 108) \cdot 10^{-9} \approx 50 \dots 110 \text{ (нс)}.$$

$$t_{\text{и}} \approx 0,7 \cdot C_{\text{ГИН}} \cdot R_{\text{р}} = 0,7 \cdot 0,072 \cdot 10^{-6} \cdot 236 = 11,9 \cdot 10^{-6} \approx 12 \text{ (мкс)}.$$

Для решения вопроса о возможности электроимпульсного разрушения предлагаемым буровым наконечником необходимо сравнение вольт-секундных характеристик воды и горной породы при принятом расстоянии между высоковольтными электродами и заземленными электродами бурового наконечника $S=90/80$ мм или проведение экспериментов по определению оптимального расстояния S .

Приведенные оценки параметров импульса ГИН на холостом ходу показывают, что бурение горных пород в воде при $S=90/80$ мм возможно, при

этом амплитуда импульса напряжения холостого хода ГИН U_{xx} будет 600 кВ (зарядное напряжение конденсаторов ГИН 60 кВ, количество последовательно включенных блоков конденсаторов 10, каждый блок конденсаторов содержит 6 параллельно включенных конденсаторов емкостью 0,12 мкФ).

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5A	Смольников Максим Михайлович

Институт	ЭНИН	Кафедра	Электроэнергетических систем
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и Электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	-Проект выполняется в лаборатории № 11 ИФВТ ТПУ -Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта составляет 2 843 973 рублей -В реализации проекта задействованы 2 человека руководитель проекта, студент-дипломник
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления на социальные цели 27,1%.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследовательской работы</i>	- Определение концепции проекта, факторов микро- и макросреды, анализ рынка продукта, экспертная оценка эффективности, SWOT-анализ
<i>2. Планирование процесса управления НИР: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработка календарного, формирование сметы расходов на проектирование
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Анализ финансовой эффективности, ресурсоэффективности и сравнения эффективностей
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Бюджет проекта 2. График Ганга	

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5A	Смольников Максим Михайлович		

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Научно-исследовательская работа заключается в проектировании бурового наконечника для электроимпульсного бурения скважин горных пород в воде.

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 раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;

- рассчитать бюджет НИИ;
- произвести оценку ресурсной и экономической эффективности исследования.

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Задачи проекта осуществлялись в лаборатории № 11 в 11 корпусе ТПУ. Главным объектом разработки и оптимизации технологии является экспериментальная ЭИ установка: буровой снаряд. Данная установка предназначена для электроимпульсного бурения горных пород.

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

- 1) бездолотное разрушение горных пород, устраняющее ограничения, накладываемые стойкостью породоразрушающего инструмента, и исключающее 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. 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.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения направлен на проведение сравнительной эффективности научной разработки и определение направления для ее будущего повышения, см. табл. 5.

В таблице 5:

- под индексом «1» приводится оценка ОАО "Завод геологоразведочного оборудования и машин" "ГРОМ", г. Тюмень
- под индексом «2» приводится оценка ООО "Волгоградский завод буровой техники", г. Волгоград
- под индексом «3» приводится оценка Drillmes, Италия

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,087	5	5	5	0,435	0,435	0,435
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,083	5	5	5	0,415	0,415	0,415
3. Помехоустойчивость	0,08	5	4	3	0,4	0,32	0,24
4. Энергоэкономичность	0,083	5	5	5	0,415	0,415	0,415
5. Надежность	0,087	5	5	5	0,435	0,435	0,435
6. Уровень шума	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35

7. Безопасность	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
8. Потребность в ресурсах памяти	0,087	5	3	3	0,435	0,261	0,261
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
10. Простота эксплуатации	0,094	5	4	3	0,47	0,376	0,282
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,066	5	5	5	0,33	0,33	0,33
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	4	5	5	0,36	0,45	0,45
2. Уровень проникновения на рынок	0,13	5	5	5	0,65	0,65	0,65
3. Цена	0,14	5	5	5	0,7	0,7	0,7
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	1	5	5	0,12	0,6	0,6
5. Послепродажное обслуживание	0,13	5	3	3	0,65	0,39	0,39
6. Финансирование научной разработки	0,13	5	3	4	0,65	0,39	0,52
7. Срок выхода на рынок	0,14	5	2	3	0,7	0,28	0,42
8. Наличие сертификации разработки	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
Итого	1				9,415	8,627	8,723

Анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Вывод: По данным таблицы можно сделать вывод о том, что целесообразнее использовать оборудование, выпускаемое ОАО "Завод геологоразведочного оборудования и машин" "ГРОМ" с точки зрения технических критериев оценки ресурсоэффективности и экономических критериев оценки эффективности.

3.2 SWOT – Анализ

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

SWOT – анализ позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок. [47] Для анализа проекта составлена таблица 6.

Сперва описываются сильные и слабые стороны проекта, для выявления возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 6 - SWOT-анализ проекта

	Strengths (свойства проекта, дающие преимущества перед другими в отрасли)	Weaknesses (свойства, ослабляющие проект)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая производительность 2. Небольшая энергоёмкость 3. Экологическая безопасность 4. Возможность совершенствования технологий, улучшения качества продукции. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая информированность потенциальных потребителей. 2. Пассивность целевой группы. 3. Информационные материалы могут быть использованы конкурентами.
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Расширение круга клиентов, географической зоны. 2. Распространение рекламы. 3. Четко налаженные поставки. 	<p>Выход на новые рынки – репутация, гибкая ценовая политика, активная роль маркетинга, уникальность. Расширение производства – активная роль маркетинга, высокий профессионализм.</p>	<p>Низкая информированность – активная реклама. Низкая прибыльность, дополнительные издержки – выход на новые рынки.</p>

<p>Угрозы:</p> <p>1. Низкий уровень входа на рынок.</p> <p>2. Активность конкурентов.</p> <p>3. Ухудшение экономической ситуации и уменьшение целевой аудитории.</p>	<p>Появление новых конкурентов – гибкая ценовая политика, активная роль маркетинга, репутация, акции. Низкий уровень входа на рынок – возможность участвовать в конференциях, выставках, использовать интернет-ресурсы в целях рекламы.</p>	<p>Низкая информированность потенциальных потребителей – Низкий уровень входа на рынок. Появление конкурентов - повышенная рыночная стоимость товара. Ухудшение условий поставок – сокращение потенциальных потребителей.</p>
---	---	---

За счет лидерства в отрасли и популяризации повысится развитие альтернативных источников энергии. Квалифицированный персонал решит проблему с недостатком дополнительных услуг. Активность конкурентов будет поглощена модой на экологически чистые источники энергии.

Вывод: 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.

3.3 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.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Важов В.Ф. – руководитель; Смольников М.М. – студент-дипломник.
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Смольников М.М.
	3	Определение последовательности этапов разработки	Важов В.Ф., Смольников М.М.
	4	Описание установки и технологического процесса генератора	Важов В.Ф., Смольников М.М.
	5	Календарное планирование работ	Важов В.Ф., Смольников М.М.
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Приобретение необходимых материальных ресурсов для осуществления проекта	Важов В.Ф., Смольников М.М.
	7	Расчет параметров электроподной системы	Важов В.Ф., Смольников М.М.
	8	Разработка конструкторской документации, утверждение и заказ	Важов В.Ф., Смольников М.М.
	9	Реализация установки	Важов В.Ф., Смольников М.М.
Обобщение и оценка результатов	10	Анализ полученных результатов, выводы	Смольников М.М.
	11	Оценка эффективности полученных результатов	Важов В.Ф., Смольников М.М.
Оформление отчета НИР	12	Составление пояснительной записки	Смольников М.М.



Рис.23 - Линейный план график реализации проекта

3.4 Определение трудоемкости работ

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

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{мин\ i} + 2 \cdot t_{макс\ i}}{5},$$

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

$t_{мин\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{макс\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pt} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

$Ч_i$ – 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k,$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}},$$

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

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

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

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

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

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

Результаты расчетов приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Временные показатели проведения ВКР

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ				
		t_{\min} чел- дн.	t_{\max} чел- дн	$t_{ож}$ чел- дн	T_p раб.дн	T_k кал.дн
1	Важов В.Ф., Смольников М.М.	4	10	6,4	3,2	5
2	Смольников М.М.	15	20	17	17	25
3	Важов В.Ф., Смольников М.М.	10	14	11,6	5,8	8
4	Важов В.Ф., Смольников М.М.	10	18	13,2	6,6	10
5	Важов В.Ф., Смольников М.М.	7	17	11	5,5	8
6	Важов В.Ф., Смольников М.М.	16	20	17,6	8,8	13
7	Важов В.Ф., Смольников М.М.	12	16	13,6	6,8	10

8	Важов В.Ф., Смольников М.М.	12	27	18	9	13
9	Важов В.Ф., Смольников М.М.	10	25	16	8	12
10	Важов В.Ф., Смольников М.М.	8	20	12,8	6,4	9
11	Важов В.Ф., Смольников М.М.	6	20	11,6	5,8	8
12	Смольников М.М.	4	10	6,4	6,4	9
ИТОГО						130

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

3.5 Расчет сметы затрат на проектирование

3.5.1 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.

3.5.2 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 9.

Таблица 9 - Расходные материалы

Наименование материала	Цена	Количество	Общая стоимость, руб
Дельта древесина	2435 руб. за 2,5м	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	6892
Рабочая часть разрядников (D1=2,5 мм; D2=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 20.04.2017 г.

3.5.3 Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	56
- невыходы по болезни	14	17
Действительный годовой фонд рабочего времени	229	226

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 11.

Таблица 11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	45000	0,3	0,15	1,3	84825	4148,6	229	950029
Инженер	25000	0,3	0,5	1,3	47125	1238,9	226	279991
Итого								1025899

3.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 12.

3.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды представлено в таблице 12.

Таблица 12 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	950029	114003
Инженер	279991	33598
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,22	
Отчисления, руб		
Научный руководитель	234087,04	
Инженер	68989,58	

3.5.6 Амортизация оборудования

Амортизация — это процесс периодического переноса начальной стоимости основного средства или нематериального актива на производственные, коммерческие или общехозяйственные расходы — в зависимости от того, как этот актив используется.

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

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100\%}; H_A = \frac{1}{T_r} \cdot 100\%$$

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

$T_{Г}$ – гарантийный срок изделия;

$N_{А}$ – проценты отчислений на амортизацию.

Таблица 13 – 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

3.5.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

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 14 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования тоб, час	Потребляемая мощность Роб, кВт	Затраты Эоб, руб.
Высоковольтный трансформатор	200	19,2	11520
Насос	200	5	3000
Итого			14520

В таблице 14 выполнены расчеты по затрате ресурсов на электроэнергию по формуле:

$$Э_{об} = (P_{об} \cdot C) \cdot t_{об},$$

где М – Мощность, кВт

С – Стоимость, 1 кВт/час 3 рубль

t_{об} – Время работы оборудования, час.

3.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 15.

Таблица 15 – Бюджет затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	980 742
2. Заработная плата	1 230 020
3. Отчисления на социальные цели	303 076,62
4. Амортизация оборудования	315 614,47
5. Накладные расходы	14 520
6. Бюджет затрат НИ	2 843 973

Вывод: общий бюджет затрат на организацию и проведения исследования составляет 2 843 973 рубля.

3.6 Оценка целесообразности исследования

3.6.1 Оценка научно-технического уровня следования

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:

Формула для определения общей оценки:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i * \Pi_i$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Π_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 16 - Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,5
Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,2

Таблица 17 - Шкала оценки новизны

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

Таблица 18 - Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ	8
Разработка численных экспериментов	6
Элементарный анализ результатов исследования	2

Таблица 19 - Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	5
Свыше 10 лет	3

Расчет НТУ:

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

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

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.

3.6.2 Оценка возможных рисков

Произведем оценку рисков. Определение рисков является одним из важнейших моментов при создании проекта. Учет рисков даст возможность избежать опасные факторы, которые негативно отражаются на внедрении в жизнь проекта.

При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления (P_i). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым

коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i . Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблицах 20-24.

Таблица 20 – Социальные риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Низкая квалификация персонала	0	2	0,061	0
2	Непросвещенность предприятий о данном методе	50	4	0,168	8,928
3	Несоблюдение техники безопасности	25	6	0,23	6,25
4	Увеличение нагрузки на персонал	50	4	0,168	8,928
	Сумма		16	0,627	24,1

Таблица 21 – Экономические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Инфляция	100	2	0,029	1,960
2	Экономический кризис	25	3	0,049	0,980
3	Непредвиденные расходы в плане работ	25	5	0,126	5,862
4	Сложность выхода на мировой рынок	75	6	0,136	10,29
	Сумма		16	0,34	19,92

Таблица 22 – Технологические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Возможность поломки оборудования	25	6	0,24	5,25
2	Низкое качество поставленного оборудования	25	8	0,313	7,0357
	Сумма		14	0,553	12,2857

Таблица 23 – Научно-технические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Развитие конкурентных методов	50	5	0,135	8,936
2	Отсутствие результата в установленные сроки	25	6	0,123	6,25
3	Несвоевременное патентование	25	8	0,176	3,657
	Сумма		19	0,434	18,843

Таблица 24 – Общие риски

№ п/п	Риски	b_i	w_i	$b_i \cdot w_i$
1	Социальные	16	0,627	10,03
2	Экономические	16	0,34	5,44
3	Технологические	14	0,553	7,742
4	Научно-технические	19	0,434	8,246
Итого				31,458

Расчет рисков дает общую оценку в 31,458. Эта цифра говорит, что проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен вероятных препятствий.