

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование многоканального электрического пробоя горной породы в системе наложенных электродов

УДК 537.529-047.37:622.236.73

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Робенков Виктор Павлович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Юдин Артем Сергеевич	кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделение социально- гуманитарных технологий	Кащук Ирина Владимировна	кандидат технических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Жгун Дмитрий Владимирович	кандидат технических наук		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код	Результат обучения
Общие по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника»	
P1	Понимать и применять в профессиональной деятельности <i>основные принципы и методы</i> научно-технической деятельности, специфику научного мировоззрения, способы взаимодействия достижений науки и техники с другими областями духовной деятельности человека. Использовать методологические основы <i>научного познания и творчества</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию.
P2	Использовать способы и принципы поиска, сбора, обработки научной и технической информации в развитии отрасли с использованием <i>современных информационных технологий</i> .
P3	<i>Применять иностранный язык</i> для академического и профессионального взаимодействия
P4	<i>Выполнять функции преподавателя</i> в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования
P5	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный и общекультурный уровень</i> , добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, реализовывать приоритеты собственной профессиональной деятельности.
P6	Использовать <i>углубленные теоретические и практические знания</i> , применять новые технологии для решения инженерных задач в области электроэнергетики и высоковольтной электротехники; понимать основные научные принципы проблем в своей предметной области.
P7	<i>Формулировать цели и задачи научных исследований</i> в соответствии с тенденциями и перспективами развития <i>высоковольтной электротехники</i> , а также смежных областей науки и техники; Планировать, выполнять фундаментальные и прикладные работы поискового, теоретического и экспериментального характера; внедрять результаты исследований в производство; Уметь работать в научном коллективе в качестве члена команды, а также руководить командой.
P8	<i>Проектировать</i> конкурентоспособную наукоемкую продукцию в сфере <i>высоковольтной электротехники</i> , а также смежных областях науки и техники; <i>Проводить технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; Применять на практике навыки и умения в <i>организации опытно-конструкторских работ</i> , использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
Профиль «Техника и физика высоких напряжений»	
P9	<i>Применять знания</i> физических и технологических основ генерирования высоких напряжений и сильных токов для <i>получения электрических и магнитных полей, электрических разрядов в диэлектриках</i> для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне.
P10	<i>Применять знания</i> физико-химических и технологических основ генерирования <i>мощных электронных, ионных пучков и потоков плазмы</i> для <i>модификации поверхности материалов, синтеза нанопорошков, обработки жидкостей и газов</i> для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне.

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ72	Робенкову Виктору Павловичу

Тема работы:

Исследование многоканального электрического пробоя горной породы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Срок сдачи студентом выполненной работы:	13 июня 2019 г.
--	-----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследование многоканального электроимпульсного пробоя твердых диэлектриков. Исходными данными являются литературные источники исследования процессов электроимпульсного разряда в твердых диэлектриках.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литераурный обзор (воздействие электрического разряда на материалы и среды, характеристики электроразрядного разрушения и его применения); 2. Задачи: Проверить возможность осуществления пробоя горной породы (песчаника и гранита) в нескольких межэлектродных промежутках за один импульс и установить зависимость наличия пробоя и

	<p>степени разрушения от различных типов горной породы (гранит, песчаник). Диэлектрической жидкости (вода, трансформаторное масло) и индуктивности электродов;</p> <p>3. Проектировка установки электроимпульсного разрушения и подготовка материалов (песчаник и 2 типа гранита)</p> <p>4. Проведение эксперимента многоканального электроимпульсного разряда в твердом диэлектрике, при описанных условиях</p> <p>5. Выводы по проведенной работе</p> <p>Дополнительные разделы: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность».</p>
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна
Разделы, выполненные на иностранном языке	Ажель Юлия Петровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	18.12.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Юдин Артем Сергеевич	кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Робенков Виктор Павлович		

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Уровень образования: магистр
 Отделение материаловедения
 Период выполнения 2018/2019 учебный год

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	13 июня 2019 г.
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.01.2019	<i>Литературный обзор: воздействие электрического разряда на материалы и среды, характеристики электроразрядного разрушения и его применения.</i>	20
12.03.2019	<i>Расчетно-конструкторская часть: методика эксперимента (описание и сборка установки электроразрядного разрушения).</i>	20
29.04.2019	<i>Экспериментальная часть: Проведение многоканально-го пробоя твердого диэлектрика, анализ результатов.</i>	30
17.05.2019	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
24.05.2019	<i>Социальная ответственность</i>	10
31.05.2019	<i>Раздел, выполненный на иностранном языке</i>	10
		<i>Сумма: 100 баллов</i>

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Юдин Артем Сергеевич	кандидат технических наук		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Жгун Дмитрий Владимирович	кандидат технических наук		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 99 страниц, 37 рисунков, 25 таблиц, 37 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИМПУЛЬС, МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД, ТВЕРДЫЙ ДИЭЛЕКТРИК, ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

В качестве объекта исследования выступает установка для электроимпульсного разрушения диэлектрических материалов, состоящая из 2-х генераторов импульсного напряжения

Цель работы - Проверить возможность осуществления пробоя горной породы (песчаника и гранита) в нескольких межэлектродных промежутках за один импульс и установить зависимость наличия пробоя и степени разрушения от различных типов горной породы (гранит, песчаник). Диэлектрической жидкости (вода, трансформаторное масло) и индуктивности электродов;

Обозначения и сокращения

В настоящей работе использовались следующие сокращения:

ЭИ – электрический импульс;

МЭИР – многоканальный электроимпульсный разряд

ПУ – пульт управления

ВСХ – вольт-секундная характеристика

ЖБК – железобетонная конструкция

НИИ ВН – научно-исследовательский институт высоких напряжений

ГИН – генератор импульсных напряжений

ПУ – пульт управления

ВТ – высоковольтный трансформатор

Оглавление

Введение.....	11
1 Электроимпульсный способ разрушения твердых непроводящих материалов.....	12
1.1 Электроразрядное воздействие на материалы и среды.....	12
1.2 Эффект внедрения канала разряда в диэлектрик, находящийся под слоем жидкости.....	13
1.3 Применение эффекта внедрения канала разряда в технологиях.....	16
1.3.1 Электроразрядное бурение.....	16
1.3.2 Электроимпульсное дробление.....	18
1.3.3 Электроразрядное снятие поверхностного слоя бетона.....	21
1.3.4 Электроразрядное разрушение железобетона.....	22
1.4 Электрические и энергетические характеристики электроразрядного разрушения.....	24
1.4.1 Параметры импульса напряжений.....	24
1.4.2 Параметры генераторов импульсного напряжения.....	27
1.5 Организация каналов разряда сразу в нескольких межэлектродных промежутках (многоканальный режим).....	27
2 Постановка цели работ.....	29
3 Методика эксперимента.....	30
3.1 Описание экспериментальной установки.....	30
3.2 Подготовка образцов.....	32
4. Результаты экспериментов.....	34

4.1 Пробой песчаника	34
4.2 Пробой гранита.....	39
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	49
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	49
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	50
5.1.3 SWOT – анализ	53
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	57
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	57
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	58
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	59
5.3 Бюджет научно-исследовательской работы (НИР)	62
5.3.1 Расчет материальных затрат НИР	62
5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для НИР	63
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей НИР	64
5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей НИР	65
5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	66
5.3.6 Формирование бюджета затрат НИР	67
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и финансовой эффективности исследования.....	67
Заключение по разделу “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение”:	69
6 Социальная ответственность	73
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	73

6.2 Производственная безопасность	75
6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	76
6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов.....	82
6.3 Экологическая безопасность.....	83
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	83
Заключение по разделу “Социальная ответственность”	84
Заключение	85
Список используемых источников.....	87
Приложение А	91

Введение

Электроимпульсный (ЭИ) способ разрушения твердых диэлектрических и полупроводящих материалов, использующий энергию импульсного электрического разряда при их непосредственном пробое показал себя эффективным по многим критериям (износ и стоимость рабочих инструментов, экологичность, практически нет зависимости от показателя прочности пород и т. д.) [1]

Идея использовать технологию, основанную на электрическом пробое для разрушения горных пород, была высказана еще в сороковых годах. Позже она была реализована на практике и вызвала немалый интерес у ученых и исследователей. Предполагается, что в будущем ЭИ способ разрушения твердых материалов заменит механический, поэтому он активно изучается, дополняется и совершенствуется.

Предметом настоящего исследования так же является усовершенствование электроимпульсного способа разрушения материалов. А именно проверка возможности осуществления электрического пробоя твердых диэлектрических материалов одновременно на нескольких каналах электродной системы за один импульс, иначе говоря осуществление многоканального электроимпульсного разряда (МЭИР).

Теоретически, использование МЭИР, могло бы повысить производительность процесса отбойки горных пород, а также сократить время работы по разрушению различных твердых материалов, однако полного понимания физики и химии процесса пока не достигнуто, особенно это касается многоканальных разрядов в твердом диэлектрике.

1. Электроимпульсный способ разрушения твердых непроводящих материалов

1.1 Электроразрядное воздействие на материалы и среды

Электрический разряд представляет собой процесс протекания заряженных частиц в среде, в следствии значительного увеличения ее электропроводимости относительно нормального состояния.

Когда это происходит, такие вещества, как диэлектрики и полупроводники утрачивают свои электроизоляционные свойства, иначе говоря, происходит их электрический пробой под действием электрического поля высоких напряжений. Минимальное напряжение, при котором происходит пробой вещества, называется пробивным и обозначается $U_{пр}$. [2]

Спектр электроразрядного воздействия на материалы и среды очень широк и весьма сложен, так как зависит от многих факторов, таких как: вид диэлектрика, его температура и структура, параметры воздействующего напряжения и т. д. Наиболее весомое влияние на механизм образования электрического разряда в диэлектриках оказывает их агрегатное состояние, иначе говоря их можно разделить на газообразные, жидкие и твердые.

Воздух до сих пор остается основным видом внешней изоляции линий электропередач, а элегаз (Гексафторид серы или шестифтористая сера SF_6) широко используется в изоляции шинопроводов и токопроводов. Газообразные диэлектрики обладают способностью восстанавливать свои проводящие свойства, как, впрочем, и жидкие, если конечно электрический разряд не изменит их химический состав. На их изоляционные свойства оказывают влияние: давление, температура, структура и наличие примесей. Однако из трех типов диэлектриков газообразные обладают самыми слабыми изоляционными свойствами и всех их отличает сравнительно небольшое напряжение пробоя.

Электрическая прочность жидких диэлектриков значительно больше газовых. Поэтому они нашли свое применение в высоковольтной изоляции в разнообразных устройствах: трансформаторах, кабелях, передающих линиях, конденсаторах, выключателях, разрядниках и т. д. В отличии от механизма

электрического пробоя в газовых диэлектриках, в жидких и твердых диэлектриках это явление не изучено до конца. На пробой в жидких диэлектриках оказывают влияние множество факторов, такие как: загрязнение, увлажнение, вязкость, температура, давление, наличие барьеров, время действия напряжения, форма и площадь электродов, полярность электродов при несимметричности их формы. [3]

Твердые диэлектрики вызывают большой научный интерес и пользуются большей популярностью чем все остальные не только из-за сложных процессов или электрической прочности, которая выше, чем у жидких и газообразных диэлектриков, без них в принципе не может быть изготовлена ни одна электроизоляционная конструкция, по крайней мере на данный момент. Твердые диэлектрики, не восстанавливают своих изоляционных свойств, после пробоя электроизоляционная конструкция разрушается. [2]

Электрическая прочность твердой изоляции зависит от различных факторов: геометрии электрического поля, полярности и вида напряжения, вида и особенностей структуры диэлектрика, температуры, времени воздействия напряжения и др.

1.2 Эффект внедрения канала разряда в диэлектрик, находящийся под слоем жидкости

Первые упоминания о возможности использования электроимпульсного разрушения твердых материалов появились в конце сороковых годов. Именно тогда профессора Томского Политехнического Института А. А. Воробьев и Е. К. Завадовская предложили совершенно новый способ разрушения твердых материалов, основанный на электрическом пробое с использованием высокого (сотни киловольт) импульсного напряжения. [4]

По началу отбой породы таким методом был весьма затруднительным, часто происходил не разряд внутри массива, а перекрытие по поверхности, ведь твердые диэлектрики имеют куда большее электрическое сопротивление по сравнению с воздухом. Обойти это ограничение удалось двумя решениями.

Первое из них заключалось в создании вокруг материала среды электрически более прочной, чем воздух, например, трансформаторное масло, вода или другие диэлектрические жидкости. Это решение закономерно вышло из исследований об электрической прочности различных материалов. Второе решение было выведено на базе исследований А.А Воробьева и его коллег. [5] Они смогли установить условия, при которых электрическая прочность твердых диэлектриков становилась меньше, чем у жидких. Это объясняется с помощью рисунка 1

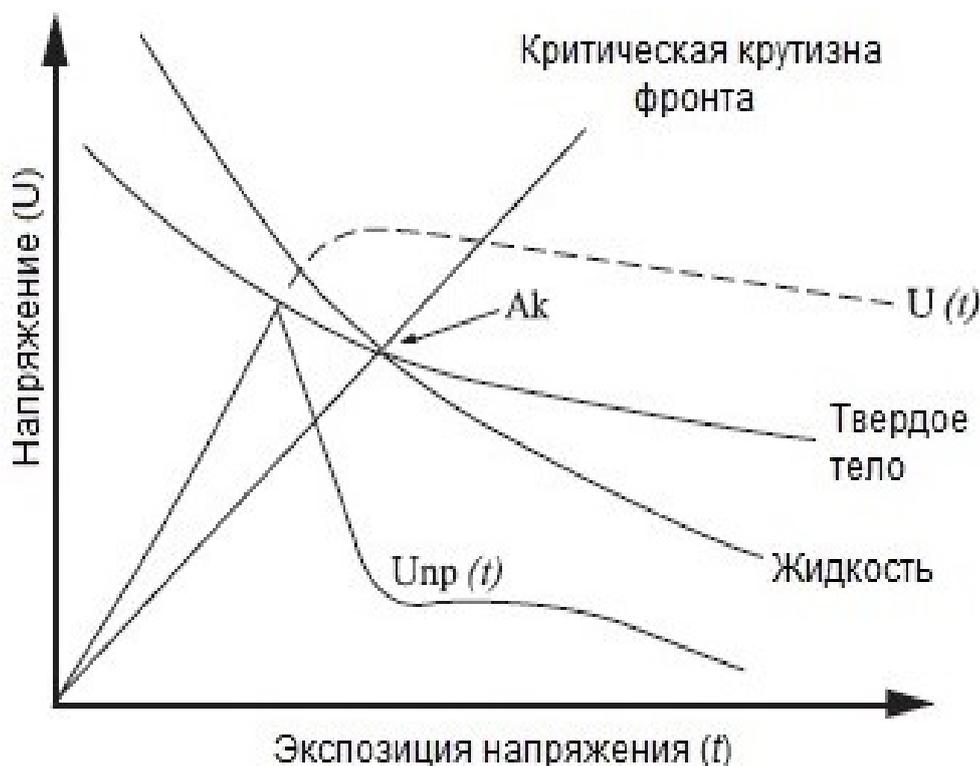


Рисунок 1 – Условие электроимпульсного разрушения; сопоставление вольт-секундных характеристик различных сред (A_k – критическая крутизна фронта; $U(t)$ – импульс напряжения; $U_{пр}(t)$ – импульс напряжения при пробое)

Зависимость напряжения от времени действия импульса (экспозиции напряжения) называется вольт-секундной характеристикой (ВСХ). На рисунке 1 видно, что при уменьшении экспозиции импульсного напряжения электрическая прочность твердых диэлектриков растет медленнее жидких, и после пересечения в точке A_k , электрическая прочность жидких диэлектриков становится больше твердых.

Примеры сопоставления ВСХ некоторых материалов можно увидеть на рисунке 2. При экспозиции 10^{-7} и ниже электрическая прочность трансформаторного масла и воды становится больше прочности всех твердых веществ на рисунке.

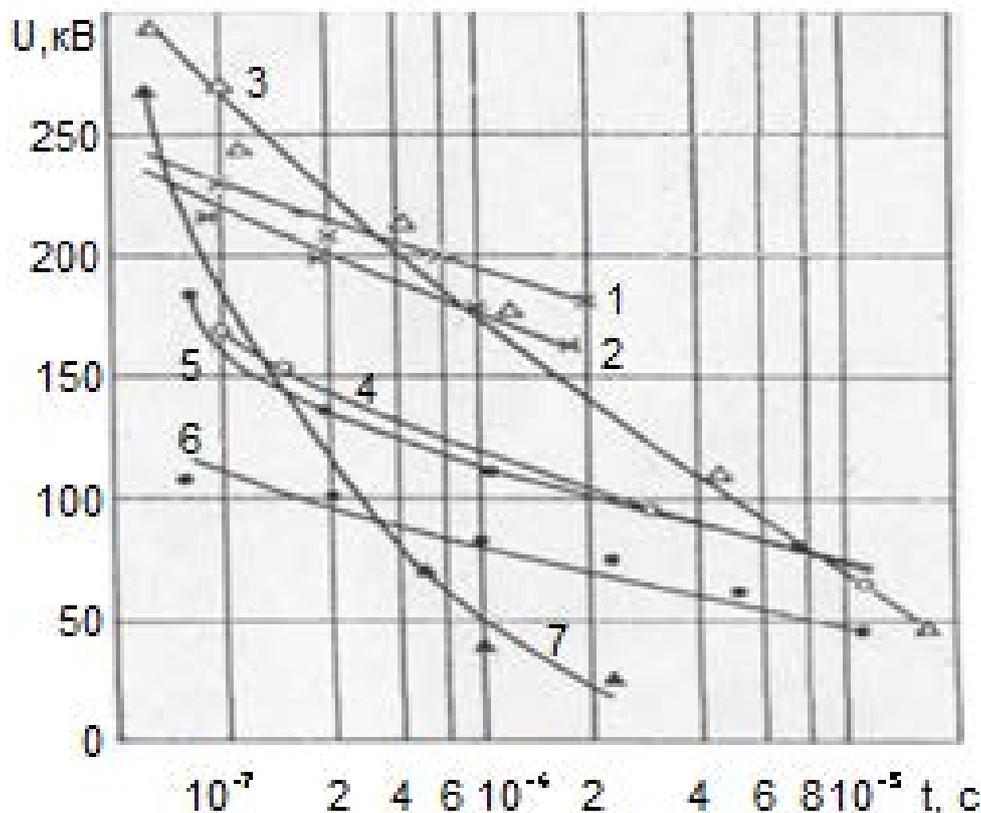


Рисунок 2 – Сравнение вольт-секундных характеристик различных материалов в электродной системе оstri плоскость, межэлектродный промежуток - 10 мм (1 – кварц, 2 – фельзит порфир, 3 – трансформаторное масло, 4 – мрамор, 5 – глинястый сланец, 6 – песчаник, 7 – вода) [1]

Первые экспериментальные исследования этого метода, проведенные А.Т. Чепиковым легли в основу разработки высоковольтных электроимпульсных технологических установок для разрушения горных пород, руд и твердых диэлектрических и полупроводящих материалов (бетон, кварц, керамика, корунд и др.). Были разработаны и изготовлены лабораторные и опытно-промышленные электроимпульсные установки для дробления и измельчения руд, резания горных пород и бетонов, бурения и проходки скважин и стволов. [6]

1.3 Применение эффекта внедрения канала разряда в технологиях

1.3.1 Электроразрядное бурение

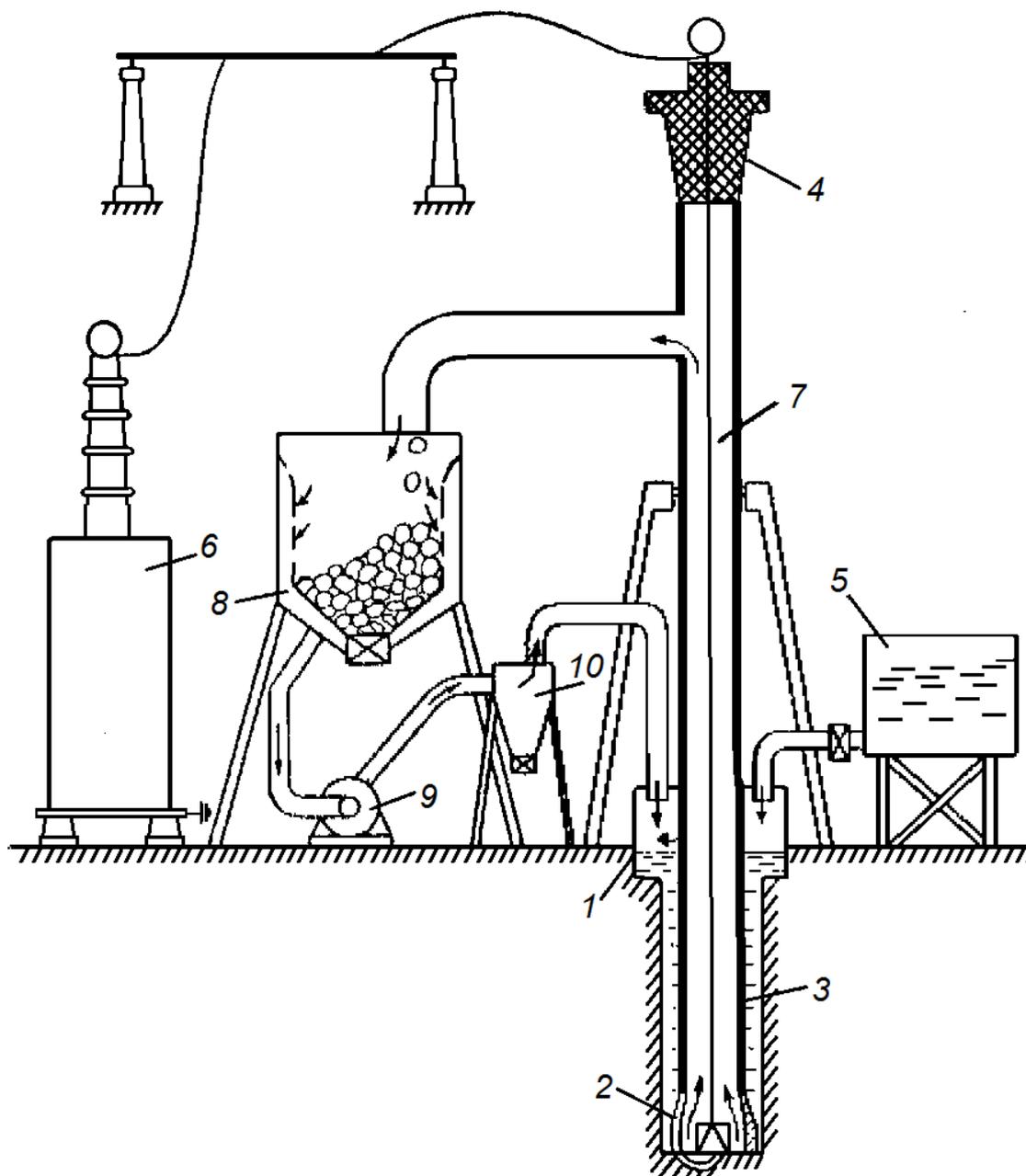


Рисунок 3 – Упрощенная схема электроимпульсной буровой установки
1 – кондуктор, 2 – буровой снаряд, 3 – колонна буровых штанг, 4 – высоко-
вольтный ввод, 5 – емкость с промывочной жидкостью, 6 – источник импульсов,
7 – токовод, 8 – шламособорник, 9 – насос, 10 – гидроциклон. [1]

На рисунке 3 изображена схема простой установки электроимпульсного (ЭИ) бурения

Основной принцип действия установки ЭИ бурения заключен в следующем: из генератора через изолированные тоководы, расположенные в буровых штангах импульсы напряжения поступают к буровому наконечнику (коронке).

Большинство компонентов схемы такие же, как и у механической буровой установки: в скважину из емкости (5) поступает промывочная жидкость (вода), только если в механической установке вода служит для удаления шлама из скважины и охлаждения бурового наконечника, то в ЭИ установке она выполняет еще одну очень важную роль – выступает в качестве электрически прочной рабочей среды и увеличивает шансы внедрения заряда. После разрушения породы шлам вместе водой выкачивается насосом (9), в шламосборник (8), где оседают самые крупные частицы шлама, из шламосборника вода поступает в гидроциклон (10), где происходит сепарация более мелких частиц, после чего вода возвращается обратно в скважину. Кондуктор (1) служит для укрепления верхней части скважины, чтобы, склонная к разрушению порода не разрушилась и не засыпала нижнюю часть скважины, а, так же он не позволяет породе впитывать промывочную жидкость.

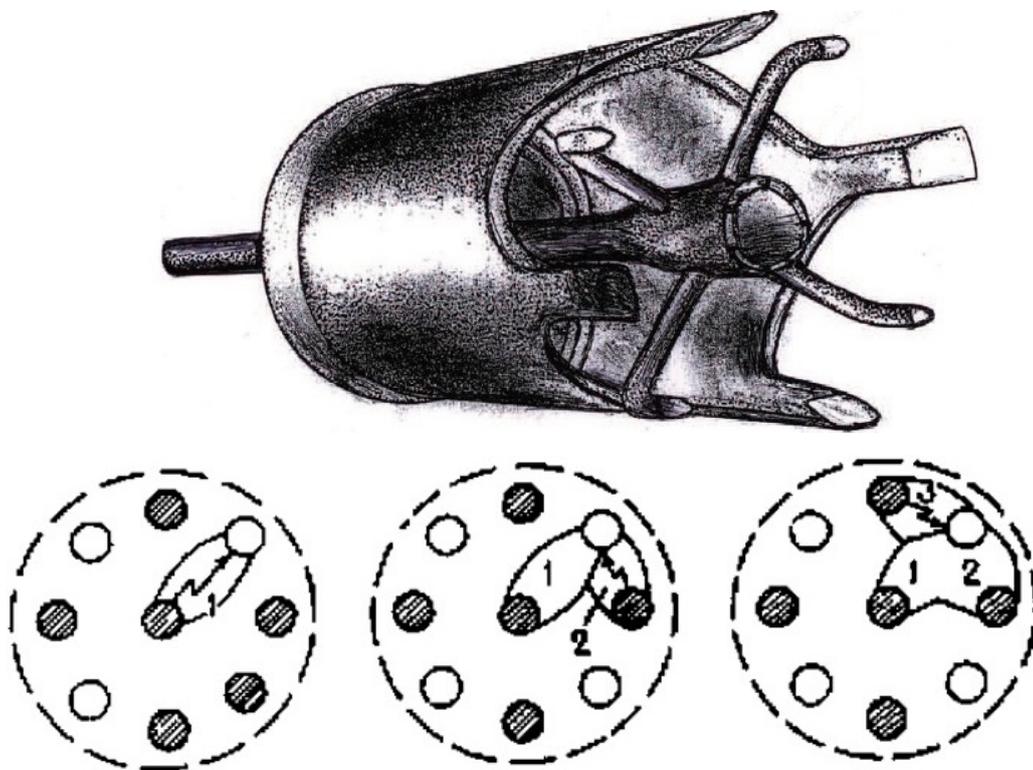


Рисунок 4 - Буровой наконечник и последовательность пробоя и разрушения материалов в скважине системой разнополярных электродов

Буровой наконечник выполнен в виде системы электродов, изображенной на рисунке 4 (серым цветом отмечены высоковольтные электроды, белым – заземленные или же электроды противоположной полярности), расстояние между разнополярными электродами устанавливается примерно одинаковое.

Буровой наконечник плотно прилегает к породе и заливается промывочной жидкостью. При подаче напряжения происходит пробитие первого промежутка (1). Место пробития породы заполняется водой, Электрическая прочность которой больше, чем у породы, при импульсах с экспозицией меньшей, чем 10^{-7} , поэтому следующий ЭИ разряд проходит между другими промежутками (2,3...). После пробоя всех промежутков буровой снаряд опускается ниже, до тех пор, пока снова не начнет контактировать с породой, затем описанная операция повторяется, до тех пор, пока не образуется скважина нужной глубины.

Таким наконечником очень удобно регулировать параметры скважины, изменяя количество электродов и расстояния между ними можно придать скважине любую форму и изменить размер [1].

1.3.2 Электроимпульсное дробление

На рисунке 5 изображена простая схема ЭИ дробилки.

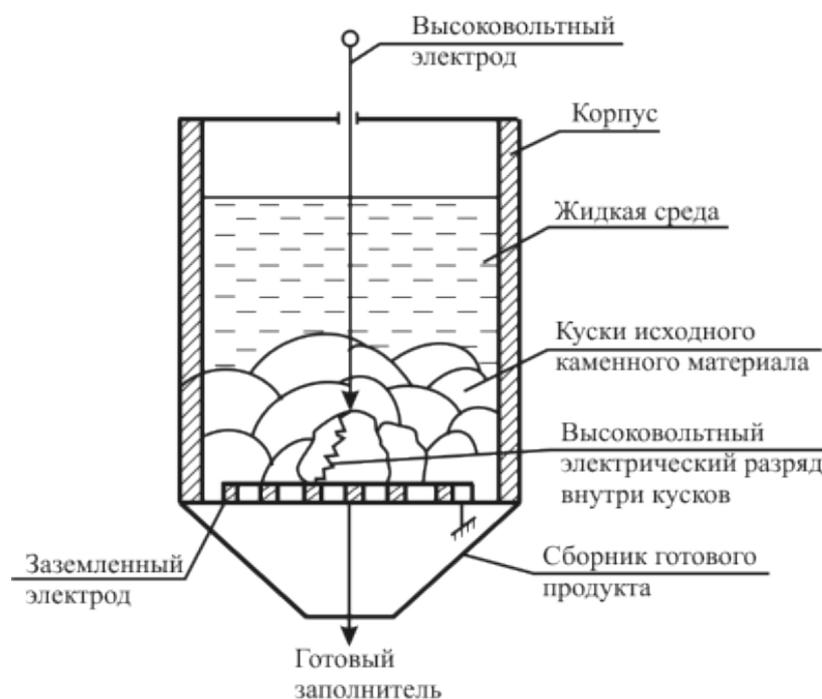


Рисунок 5 – технологическая схема ЭИ дробилки

Дробление осуществляется следующим образом, материал, который нужно измельчить помещается в специальный бак с водой. В баке так же установлены 2 электрода: высоковольтный и заземленный. Напряжение подается на высоковольтный электрод, происходит разрушение материала до определенного размера, раздробленные куски через отверстия в заземленном электроде попадают в сборник.

В зависимости от размера изначального материала и продукта дробления выбирается бак различного исполнения. Баки, изображенные на рисунке 6 (а,б), электродная система которых выполнена в виде “стержень-плоскость”, они рассчитаны на изначальный размер материала до 60 мм.

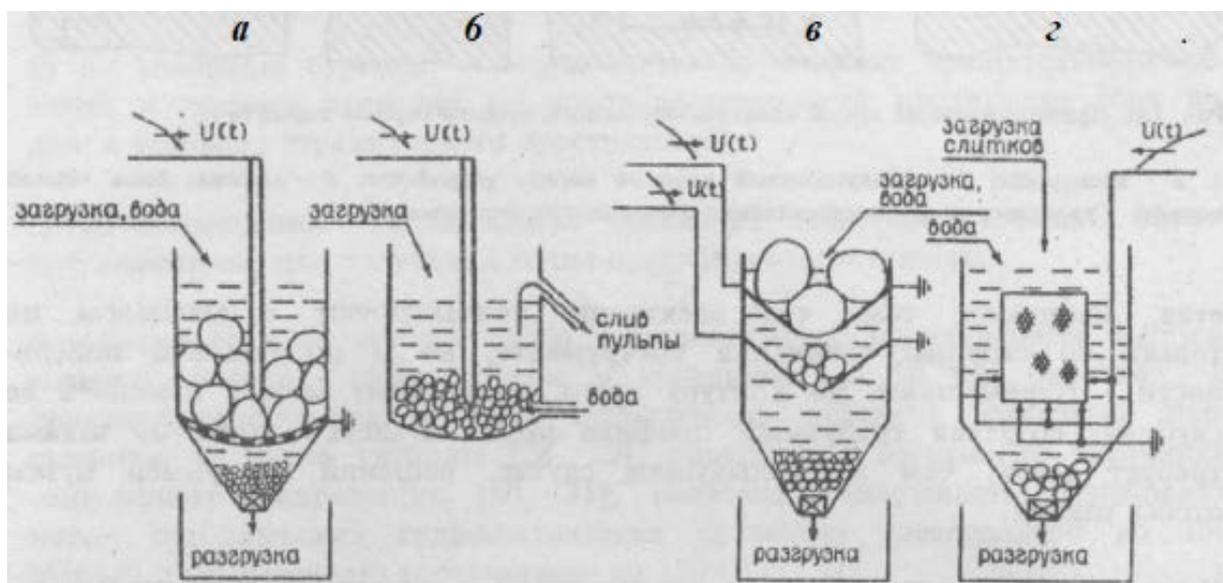


Рисунок 6 – Различные варианты исполнения электроимпульсных дробилок

Исполнение “а” предусмотрено для готового продукта размером несколько миллиметров. В этом исполнении материал по достижению нужного размера после дробления, сможет пройти через специальные отверстия в электроде в накопитель.

Исполнение “б” рассчитано на доли миллиметров размера готовой продукции. В таком баке кусочки раздробленного материала уносятся потоком жидкости, которая подается извне.

В исполнении “в” подается материал до 300 мм. В баке присутствует несколько отделений, границы которых определяются электродами. При

измельчении исходного материала до размера зазора, который образуют электроды 1-ой секции, он проходит в следующую секцию, там уменьшается до еще более мелких размеров и так далее, в зависимости от количества секций.

Исполнение “г” рассчитано на самые большие исходные образцы до 1000 мм. Разрушение таких образцов осуществляется за счет последовательного откола его частей за счет внедрения разряда с поверхности электрода.

С помощью электроимпульсного дробления создаются активированные заполнители и по сравнению с их механическим способом изготовления, дробление осуществляется электроразрядом, без дополнительных звеньев передачи энергии, кроме того, разрушение осуществляется за счет растягивающих напряжений, а предел прочности материала на растяжение, всегда меньше, чем на сжатие. При электроимпульсном дроблении имеет место избирательное разрушение по местам дефектов, неоднородностей, трещин и плоскостям спайности, а также избирательное дробление по крупности в зоне разрушения. [7]

Использование ЭИ в дроблении позволяет достигать весьма мелкодисперсных показателей продукта дробления, один из примеров, приготовление водоугольного топлива. Этого можно добиться, регулируя параметры динамического поля механических напряжений и таким образом производя материал подходящего качества и размера.

Особенностями электроимпульсных дробилок получения активированных заполнителей являются возможности совмещения в одном аппарате:

- дробильных узлов и существующих устройств по обогащению продукта;
- дробильных узлов и узлов классификации готового продукта по узким фракциям;
- дробильных узлов и системы промывки поверхности заполнителей.

В отличие от механических дробилок износ электродов ЭИ дробилок намного меньше.

1.3.3 Электроразрядное снятие поверхностного слоя бетона

Еще одно очень перспективное направление применения ЭИ разрушение – это снятие поверхностного слоя бетона. Данная технология может оказаться весьма полезной в атомных электростанциях, для понижения радиоактивности облучаемых бетонных блоков. Как показали исследования, удаление поверхностного слоя толщиной от одного до трех сантиметров снижает радиоактивность поверхности в семнадцать раз [8, 9, 10, 11].

В работе Боева С. Г. упоминалось использование этой технологии для ремонта асфальта и дорожного покрытия [10].

В данном направлении работы начинались с технологии резания горных пород. В 1964–66 гг. в НИИ ВН исследованы режимы резания горных пород в диэлектрических средах и устройства для ЭИ-резания горных пород в воде. Были опробованы различные конструкции электродных систем, получены результаты, свидетельствующие о высокой технологической эффективности процесса. Затраты энергии на разрушение горных пород и строительных материалов (от динасового кирпича до гранита) составили 1,2–3,9 кВт·ч/м²

В работе [11] поверхностный слой бетона удалялся двумя методами — электрогидравлическим и электроимпульсным. ЭИ способ оказался эффективнее по энергозатратам и еще одно важное преимущество он не образует пыли, что при удалении радиоактивного слоя немаловажно.

В работе [9] проведены исследования разрушения бетона в воде на спадающей части импульса напряжения. Для исследований электроимпульсного разрушения использовались генераторы Аркадьева-Маркса с запасаемой энергией от 3,2 до 45 кДж. Автор утверждает, что эффективность разрушения наиболее высока при использовании электродов системы «стержень – стержень» и больших разрядных промежутках. Так, в работе для разрушения поверхности использовались два стержня — потенциальный и заземлённый. Расстояние между стержнями составляло 90 мм. В работе достигнута большая скорость очистки — ~ 6,8 м²/час. Однако стоит отметить, что испытания проводились на бетонном блоке

размером 400x100x150 мм³ и обработку поверхности блока автор начинал от края блока, что приводило к отколу значительной части края. К тому же при таких межэлектродных зазорах неравномерность обработанной поверхности слишком велика.

1.3.4 Электроразрядное разрушение железобетона

Данное технологическое применение электроимпульсного способа разрушения осуществляется по схеме, представленной на рис. 6 [12].

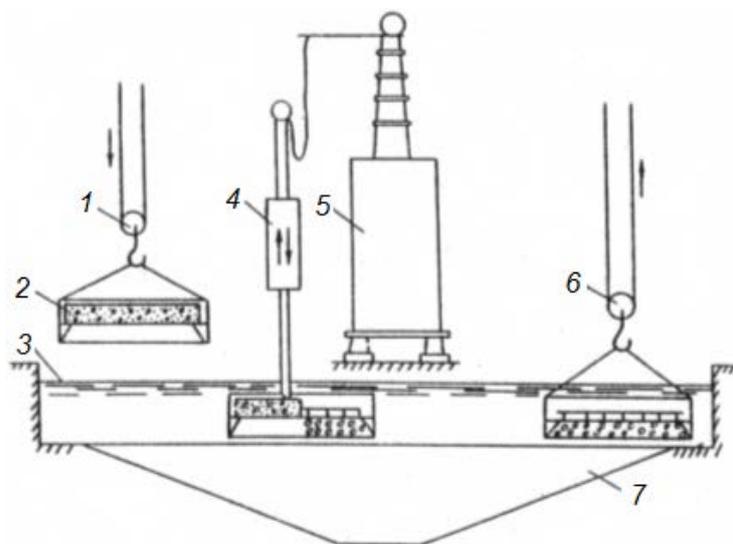


Рисунок 6 – Технологическая схема ЭИ-установки для утилизации некондиционных железобетонных изделий

1 – загрузочное устройство; 2 – ЖБИ; 3 – технологическая ванна;
4 – электродная система; 5 – источник импульсов; 6 – разгрузочное устройство; 7 – шламособорник

Объектом разрушения служат некондиционные железобетонные конструкции (ЖБК) - брак производства или выбывающие из эксплуатации панели.

Технология используется для утилизации отработанных железобетонных свай и прочих изделий. Для осуществления разрушения ЖБК не нужен заземленный электрод, так как он присутствует в самом ЖБК. Идеальный

вариант, когда арматура ЖБК не обнажена, тогда, разряды чтобы пройти к электроду необходимо обязательно произвести разрушения бетона, а в случае с выступающей арматурой может произойти и перекрытие по поверхности.

Технологическая схема разрушения ЖБИ следующая. Панель 2 загружается в ванну с водой 3; рабочий электрод 4 с помощью манипулятора постепенно перемещается по ячейкам изделия, при этом система контроля выдает команду для перемещения в новое положение лишь после полного разрушения ячейки; освободившиеся после разрушения ЖБИ арматура и бетонный шлам по отдельности удаляются из ванны. Как показали опытные работы по разрушению ЖБИ, состояние арматуры позволяет ее повторное использование, так же, как и бетона после дополнительного его доизмельчения.

В числе других апробированных технологических применений электроимпульсного разрушения, если в основу градации положить особенность процесса пробоя или конструкцию породоразрушающего устройства, можно назвать следующие: разрушение негабаритов и очистка опреснительных трубок от накипи.

Принципиально имеется два возможных способа разрушения негабаритов электроимпульсным способом - при пробое в системе наложенных электродов и при пробое в системе с предварительно забуренными шпурами. Здесь имеется в виду, что пробиваемые промежутки достигают длины нескольких дециметров и что обеспечивается ввод необходимого количества энергии в канал разряда. Первый способ проще технологически, однако чрезвычайно низка эффективность использования энергии канала разряда. С энергетической точки зрения случай сквозного пробоя из забуренных шнуров более выгоден, однако технологически осложнен операцией забуривания шпура, и его эффективность необходимо оценивать в сравнении с достаточно хорошо отработанной технологией электрогидравлического разрушения негабаритов. Очистка опреснительных трубок от накипи осуществляется путем разрушения ее разрядами с вводимого в трубку стержневого электрода. Эффективному разрушению солевых отложений способствует их низкая электрическая прочность и высокая хрупкость

Технологическая эффективность применения способа обусловлена тем, что кроме химического удаления накипи, низкопроизводительного и экологически опасного, других удовлетворительных способов не имеется. В данном случае с высокой эффективностью используется также та особенность способа, что источник энергии и исполнительный орган могут быть как угодно далеко отдалены друг от друга, что позволяет разработать устройства для действия в условиях ограниченного пространства.

К побочным явлениям электроимпульсного разрушения следует отнести эффекты, обусловленные воздействием на материал и жидкую рабочую среду высоких температур канала разряда, давления проходящей в твердом теле волны, электрических и магнитных полей. Фазовые превращения в материале, изменение поверхностных свойств и т.д. могут выступать не только как факторы, влияющие на эффективность последующих процессов с материалом (например, при обогащении), но и представлять самостоятельный технологический интерес, например, для ускорения химических реакций, синтеза алмазов и т.д. Именно в этой области возникает соприкосновение и взаимопроникновение исследовательских работ по электроимпульсной, электрогидравлической, электронно ионной технологиям. Примером этому является электроразрядное разупрочнение материала для интенсификации гидрометаллургического процесса, для повышения селективности разрушения руд [1].

1.4 Электрические и энергетические характеристики

электроразрядного разрушения

1.4.1 Параметры импульса напряжений

Как уже говорилось ранее, электрический разряд весьма сложный процесс, не получится получить точную картину его процесса образования и распространения, в силу множества факторов, влияющих на эти процессы. Максимально объективное и достоверное описание можно составить, если учесть, как можно больше параметров.

Касательно ЭИ способа разрушения, в процессе его исследования сложилось так, что важнейшую роль играет сравнение вольт-секундных характеристик твердых и жидких материалов. И из этого закономерно вышло, что важнейшим параметром импульса считается крутизна его фронта. Однако это вывелось при сравнении косоугольных импульсов напряжения, и после этого И.И. Каляцким, А.Т. Чепиковым и А.И. Лимасовым были проведены многочисленные исследования в сравнении вольт-секундных характеристик различных материалов при косоугольных импульсах. [13,14,15].

Очень важным параметром импульса напряжения является его форма, так как в исследованиях Г.С. Коршунова получилось осуществить пробой с помощью прямоугольных импульсов напряжения и более того, он оказался эффективнее (пробивное напряжение меньше, а шанс внедрения выше).

В работе [16] проводили исследования развития косоугольного импульса импульса и влияние на это развитие расположения и полярности электродов (рисунок 7)

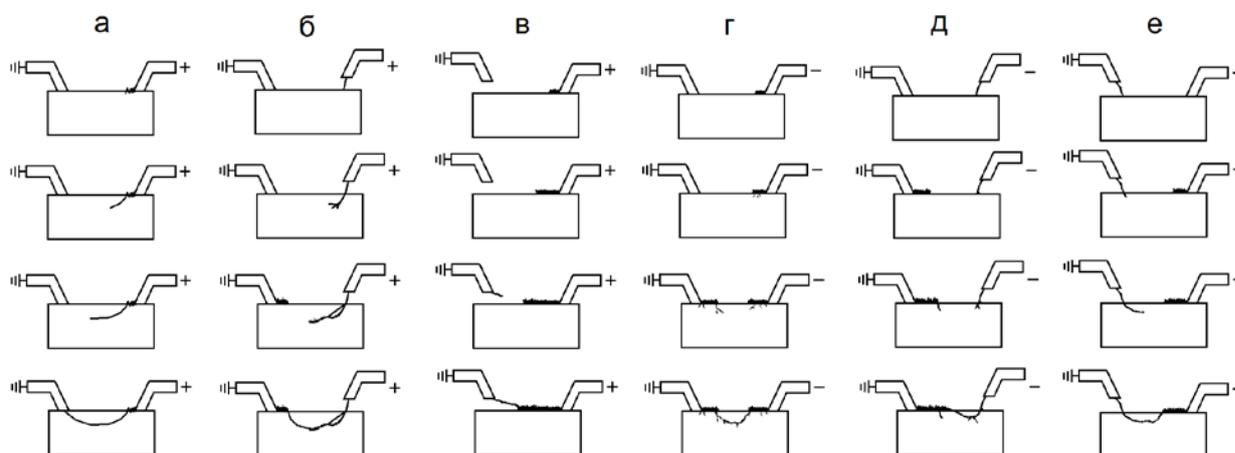


Рисунок 7 – влияние полярности и расположения электрода на прохождение разряда в твердом диэлектрике [1]

В схемах “а”, ”б”, ”в” – высоковольтный электрод имеет положительную полярность. В случае “а” электроды имеют симметричное расположение относительно друг друга. Из всех экспериментов имеет самое маленькое значение напряжения пробоя, так же, пробой внутри тела завершается быстрее, чем

зарождаются заряды на заземленном электроде, поэтому и время до пробоя тоже наименьшее.

В эксперименте “б” высоковольтный электрод приподнят, чтобы пройти через твердый образец, разряд должен пройти сначала через жидкость, поэтому напряжение пробоя здесь выше, чем в эксперименте “а”, так же, видно, что у заземленного электрода разряд успевает пройти немного по поверхности. В исполнении “б” количество отколота материала вышло самым большим.

Эксперимент “в” с поднятым заземленным электродом оказался худшим условием для осуществления пробоя внутри материала. Разряд по большей части прошел по поверхности и завершился пробоем жидкости промежутка.

В исполнениях “г”, “д”, “е” – высоковольтный электрод имеет отрицательную полярность. В схемах с отрицательной полярностью разряд развивается медленнее, и напряжение пробоя в них больше, чем в аналогичных схемах с положительной полярностью. В эксперименте “г” из-за задержки инициирования разряда, он сначала проходит часть пути по поверхности с обоих электродов.

В эксперименте “д” задержка инициирования заряда еще сильнее чем в “и”, чаще всего в таком случае, заряд и вовсе не внедряется в материал и завершается пробоем по поверхности.

Исполнении “е” вышло единственным которое технологически эффективнее своего аналога с положительной полярностью, но в целом положительная полярность является более предпочтительной ввиду более высокого технологического эффекта и более низкого напряжения пробоя.

В исследованиях, проводимых Вазовым В.Ф., исследовалось влияние различных факторов на ЭИ разрушение. Давление и температура так же оказывают влияние на разряд. По результатам исследования при повышении давления и температуры энергозатраты на ЭИ разрушение образцов увеличиваются, а производительность уменьшается. [17]

Увеличение расстояния между электродами увеличивает напряжение пробоя, что вполне естественно, ведь разряду в таком случае необходимо пройти большее расстояние.

Так же важное влияние оказывает форма электродов ведь она влияет на форму электрического поля, чем более однородная форма поля, тем больше напряжение пробоя.

1.4.2 Параметры генераторов импульсного напряжения

Несмотря на преимущества и потенциал ЭИ способа разрушения твердых материалов, в производстве они практически не используются. Это связано с рядом технологических проблем, основные из них:

- Реализация эффективного электротехнического исполнения сложна.
- Показатели массы и габаритные параметры уступают установкам механического разрушения, самые тяжелые элементы: магнитопровод трансформатора и дроссель насыщения, на основе которых выполнены устройства регулировки скорости заряда, а низкие габаритные показатели у ЭИ установок за счет больших изоляционных промежутков между элементами установки. и не удовлетворяют условиям экономического преимущества. [18]
- Высокий уровень напряжения подвергает риску элементы изоляции установок
- ограниченный ресурс работы конденсаторов

Из этих проблем можно выделить параметры генераторов импульсного напряжения (ГИН), над которыми работали и работают сейчас исследователи. Некоторые из этих проблем решены, например, удалось сильно повысить ресурс конденсаторов (до 10^8 импульсов), так же удалось существенно снизить массо-габаритные показатели генераторов, путем замены железа, из которого изготавливают магнитопровода на ферриты. До сих пор продолжаются работы по улучшению массо-габаритных и энергетические показатели, но так же проводятся работы по увеличению мощности установок. [19,20,21,22]

1.5 Организация каналов разряда сразу в нескольких межэлектродных промежутках (многоканальный режим)

Идея осуществить многоканальный электроимпульсный разряд (МЭИР) появилась за наблюдением процесса ЭИ бурения. Наконечник буровой установки представляет из себя многоэлектродную систему и, как описывалось выше, разряд в ней проходит последовательно.

Однако во время проведения экспериментов, связанных с ЭИ бурением, иногда, получалось так, что после подачи одного ЭИ разряда, пробитие образца происходило в нескольких межэлектродных промежутках, однако это происходило спонтанно и на это явление не обращали особого внимания. Позже возникла идея сделать этот процесс управляемым, она исходила из предположения: откол образца на нескольких межэлектродных промежутках за один импульс возможно повысит скорость работы ЭИ буровой машины и других установок ЭИ разрушения твердых непроводящих материалов, а также, возможно улучшит энергетические и технологические показатели установок. Для проверки этой теории необходимо было произвести эксперименты.

В литературных и интернет-источниках данных о подобного рода опытах найдено не было, поэтому было решено провести эти опыты в рамках научно-исследовательской работы

2. Постановка цели работы

Цель: Исследование многоканального электрического пробоя горной породы.

Задачи:

1. Проверить возможность осуществления пробоя горной породы (песчаника и гранита) в нескольких межэлектродных промежутках за один импульс в среде трансформаторного масла и технической воды.

2. Установить зависимость наличия пробоя и степени разрушения в нескольких межэлектродных промежутках за один импульс от индуктивности каждого электрода, типа диэлектрической жидкости (вода, трансформаторное масло) и горной породы (песчаника и гранита).

3. Методика эксперимента

3.1 Описание экспериментальной установки

Эксперименты проводились на установке, состоящей из двух параллельно соединенных ГИНов по схеме Аркадьева-Маркса.



Рисунок 8 – Экспериментальная установка (слева – 2 ГИНа и разрядная камера, справа – электродная система)

Первый ГИН заряжается напряжением положительной полярности, второй – напряжением отрицательной полярности, за счет диодов $D1$, $D2$ (Рисунок 9). После подачи сигнала с пульта управления (ПУ) импульсные напряжения противоположных полярностей с двух ГИНов подаются на соответствующие электроды, подключенные каждый к своему ГИНу.

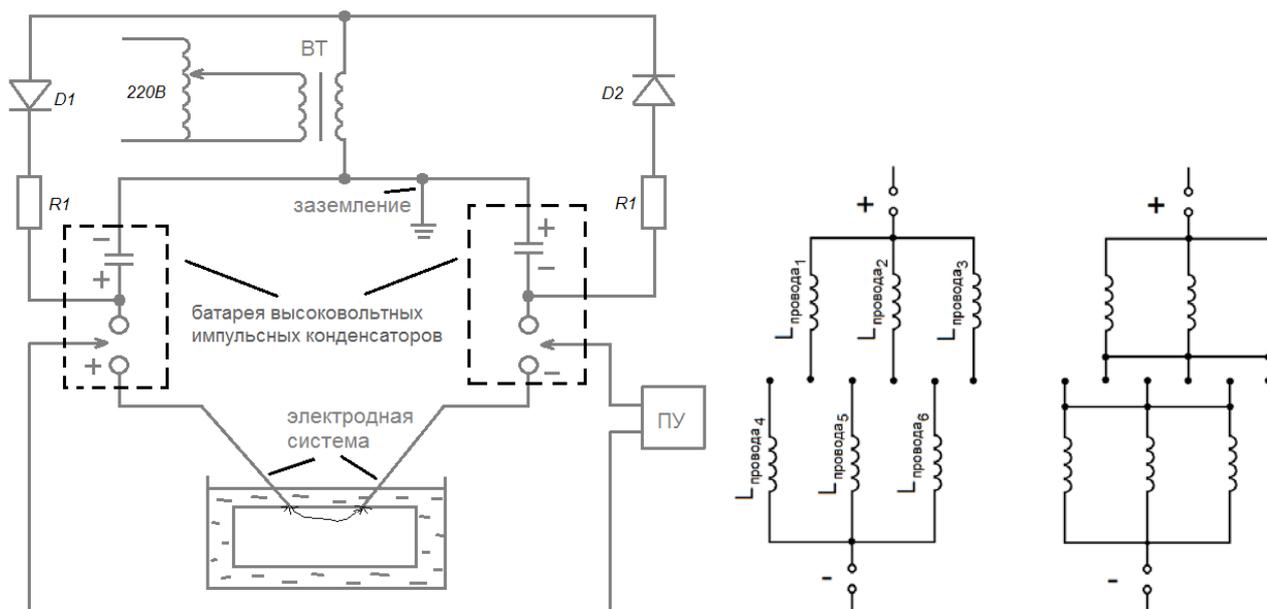


Рисунок 9 - Экспериментальная установка (справа), электродная система (слева)

Генератор импульсных напряжений ГИН состоит из:

- высоковольтный трансформатор
- генератор
- делитель напряжения
- батарея высоковольтных импульсных конденсаторов
- зарядное устройство
- устройство заземления
- пульт управления

Разрядная камера состоит из:

- бак с жидкостью
- система электродов

Параметры электродной системы:

- межэлектродное расстояние = 45 мм
- электрическое сопротивление = 90 Ом
- индуктивность проводов ($L_{\text{провода1}} = 6,76$ нГн; $L_{\text{провода2}} = 6,01$ нГн; $L_{\text{провода3}} = 5,25$ нГн; $L_{\text{провода4}} = 6,32$ нГн; $L_{\text{провода5}} = 5,9$ нГн; $L_{\text{провода6}} = 4,9$ нГн)

Таблица 1 - Технические характеристики установки

напряжение питания	380 В, 50 Гц
зарядное напряжение	50 кВ
Выходное напряжение генератора	400 кВ
энергия импульса	600 Дж
частота следования импульсов	5 имп/с
потребляемая мощность	10 кВт
емкость конденсатора	100 нФ

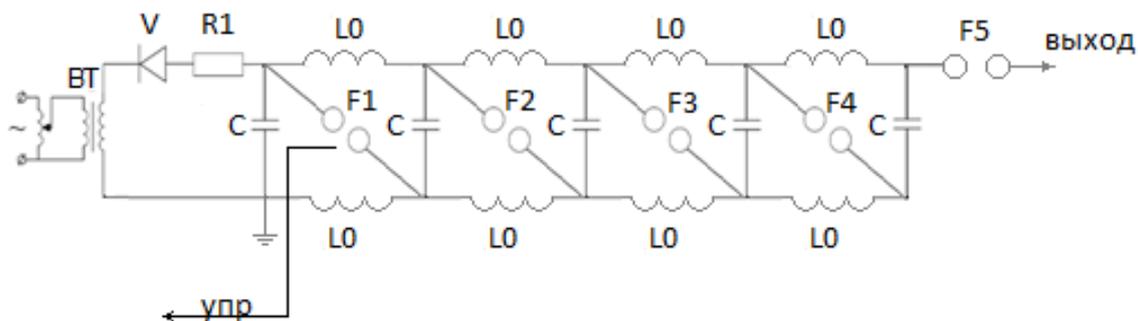


Рисунок 10 – Принципиальная электрическая схема ГИН: *BT* – высоковольтный трансформатор, *R1* – защитное сопротивление, *L0* – зарядные (разделительные) индуктивности, *C* – конденсаторы, *F1-F8* – шаровые разрядники,

3.2 Подготовка образцов

Для проведения эксперимента были приобретены блоки песчаника и гранита двух видов (белый и черный).

- Песчаник (20 блоков)

Параметры одного блока: (длина – 31,5 см; ширина – 11 см; высота = 3 см)

Прочность на сжатие – 50 МПа

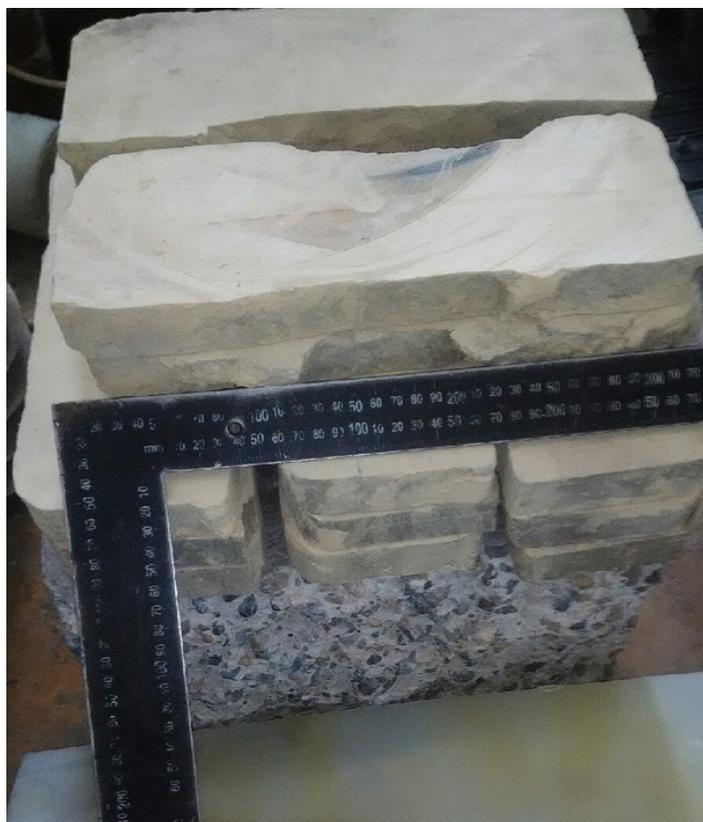


Рисунок 11 – Блоки песчаника

- Белый гранит (2 блока)

Параметры одного блока: (длина – 34 см; ширина – 5 см; высота = 3 см)

Прочность на сжатие – 156,6 МПа



Рисунок 12 – Блоки белого гранита

- Черный гранит (8 блоков)

Параметры одного блока: (длина – 34 см; ширина – 5 см; высота = 3 см)

Прочность на сжатие – 229 МПа

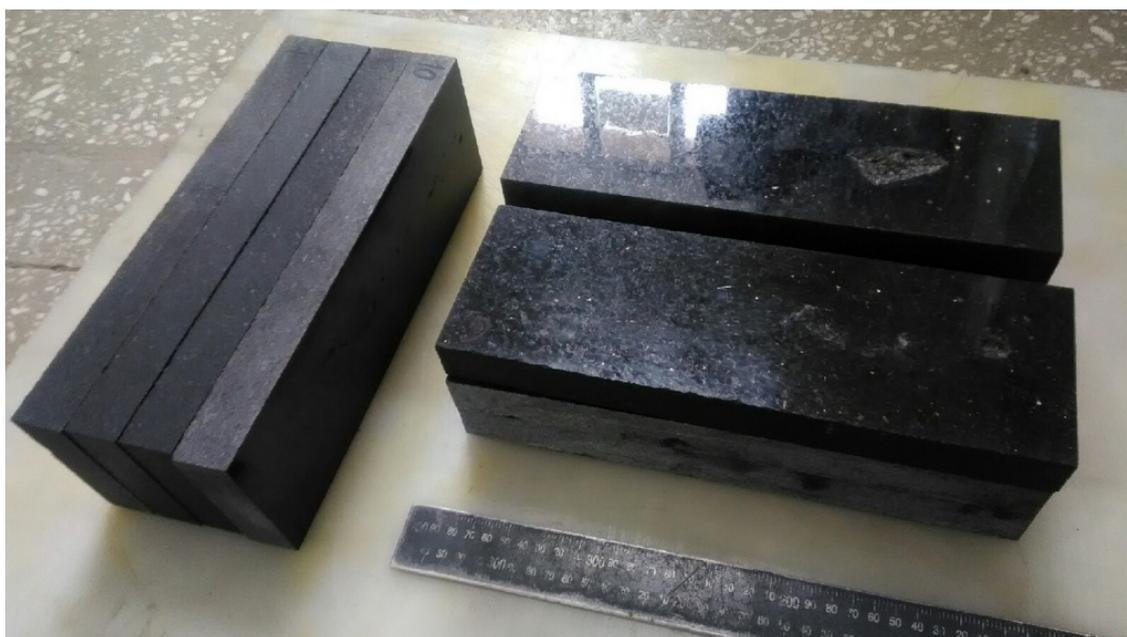


Рисунок 13 – Блоки черного гранита

4. Результаты экспериментов

4.1 Пробой песчаника

Первый эксперимент: пробой песчаника в воде при раздельном соединении проводов к электродам.

Было осуществлено 3 разряда, в первом произошел откол в 2-х межэлектродных промежутках, а во втором и третьем внедрение в 3-х межэлектродных промежутках (Рисунок 15).

Общий объем отколотого материала $V_{\text{общ}} = V_1 + V_2 + V_3 = 0,8 \text{ мм}^3 + 0,2 \text{ мм}^3 + 0,2 \text{ мм}^3 = 1,2 \text{ мм}^3$

Таблица 2 – Параметры эксперимента № 1 (U_z – зарядное напряжение ступени ГИНа; U_a – амплитудное напряжение)

N	U_z (кВ)	U_a^+ (кВ)	U_a^- (кВ)	Объем, мм^3
Разделенные электроды				
1	35,2	128,4	117	$V=0,8$
2	35,2	139,8	121,6	$V=0,2$
3	36,1	129,2	136,8	$V=0,2$

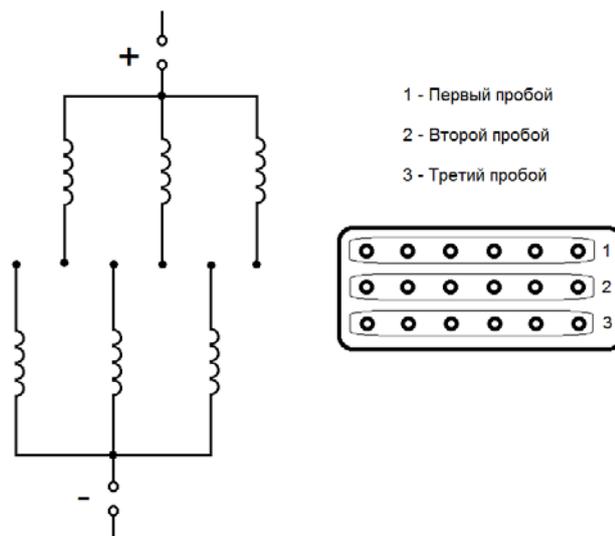


Рисунок 14 – Расположение электродов на образце в эксперименте №1



Рисунок 15 – Результаты эксперимента № 1

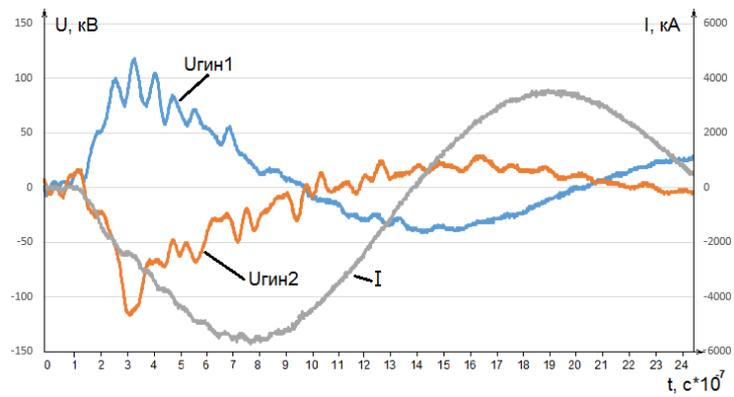


Рисунок 16 – Осциллограмма первого разряда эксперимента № 1

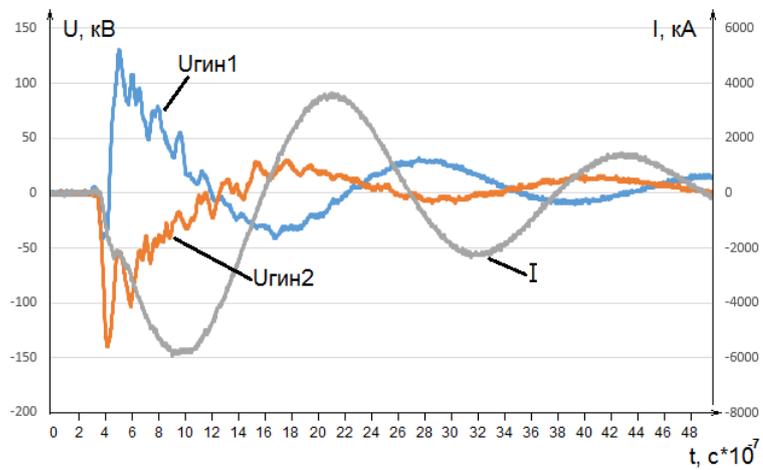


Рисунок 17 – Осциллограмма второго разряда эксперимента № 1

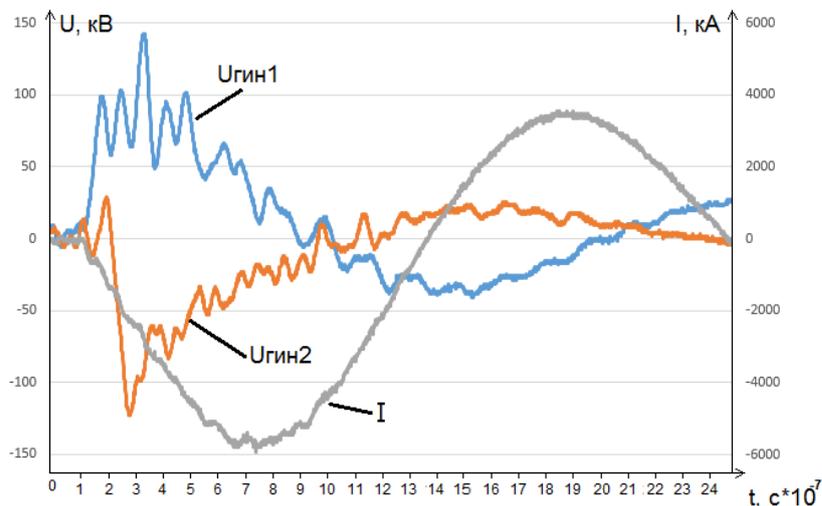


Рисунок 18 – Осциллограмма третьего разряда эксперимента № 1

Второй эксперимент: пробой песчаника в воде при соединении электродов у основания медной шиной

Было осуществлено 3 разряда, в первом произошел откол в центральном промежутке и в 2-х промежутках – внедрение, во втором – откол опять произошел в центральном промежутке, а в промежутке справа – внедрение, в третьем – откол в 2-х промежутках (Рисунок 20).

Общий объем отколотого материала $V_{общ} = V1 + V2 + V3 = 1,3 \text{ мм}^3 + 0,5 \text{ мм}^3 + 2,3 \text{ мм}^3 = 4,1 \text{ мм}^3$

Таблица 3 – Параметры эксперимента № 2 (U_z – зарядное напряжение ступени ГИНа; U_a^+ – амплитудное напряжение)

N	U_z (кВ)	U_a^+ (кВ)	U_a^- (кВ)	Объем, мм^3
Объединенные электроды				
1	36,1	99,7	112,5	1,3
2	36,1	111	109,4	0,5
3	36,1	149	109,4	2,3

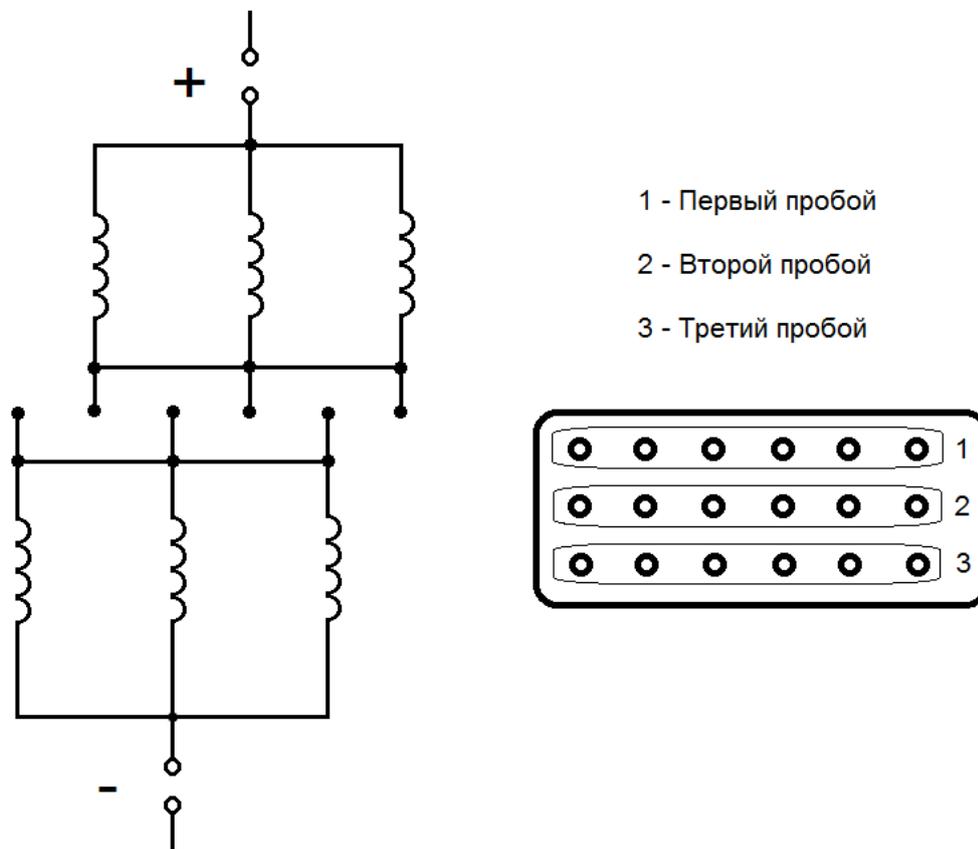


Рисунок 19 – Расположение электродов на образце в эксперименте №2



Рисунок 20 – Результаты эксперимента № 2

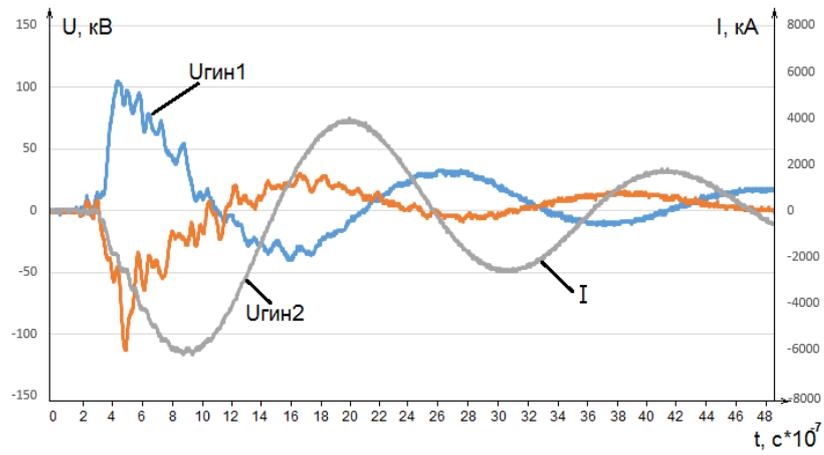


Рисунок 21 – Осциллограмма первого разряда эксперимента № 2

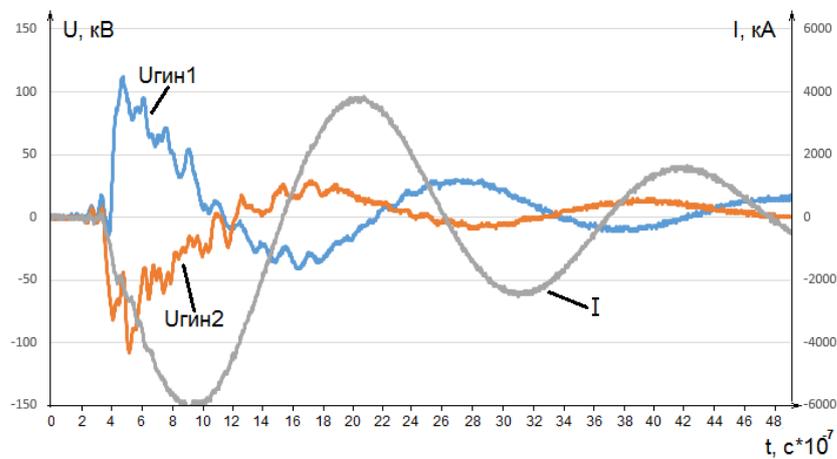


Рисунок 22 – Осциллограмма второго разряда эксперимента № 2

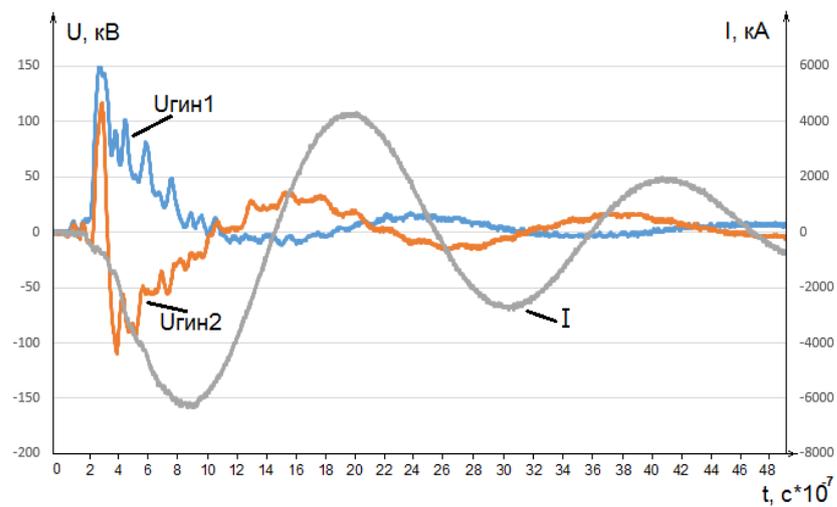


Рисунок 23 – Осциллограмма третьего разряда эксперимента № 2

4.2 Пробой гранита

Третий эксперимент: пробный пробой гранита в воде при соединении электродов у основания медной шины

Было пробито 2 образца белого гранита (Рисунок 25) Первый образец раскололся со второго разряда, во время первого разряда не было даже внедрения. Во втором образце во время первого разряда произошло перекрытие по поверхности в одном промежутке, Второй разряд проводился на соседней поверхности, где произошло перекрытие в 2-х промежутках.

Таблица 4 – Параметры эксперимента № 3 (U_z – зарядное напряжение ступени ГИНа; U_a – амплитудное напряжение)

N	U_z	U_a^+	U_a^-
1	37,0	155,8	155,8
2	38,0	144,4	152,0
3	42,8	171,0	159,6
4	45,6	190,0	163,4

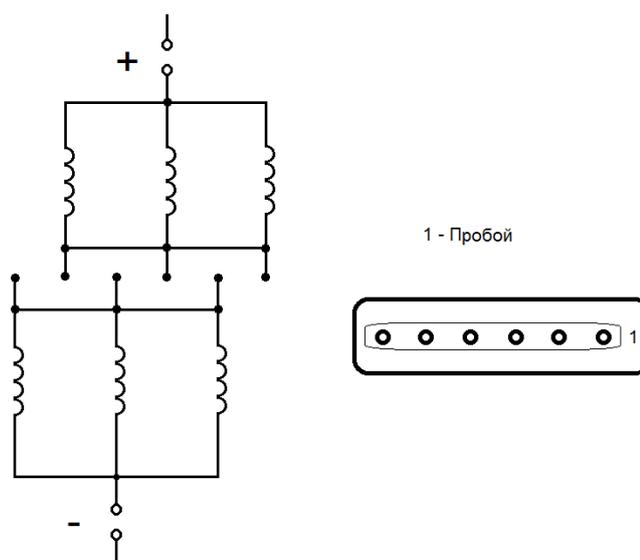


Рисунок 24 - Расположение электродов на образце в эксперименте №3

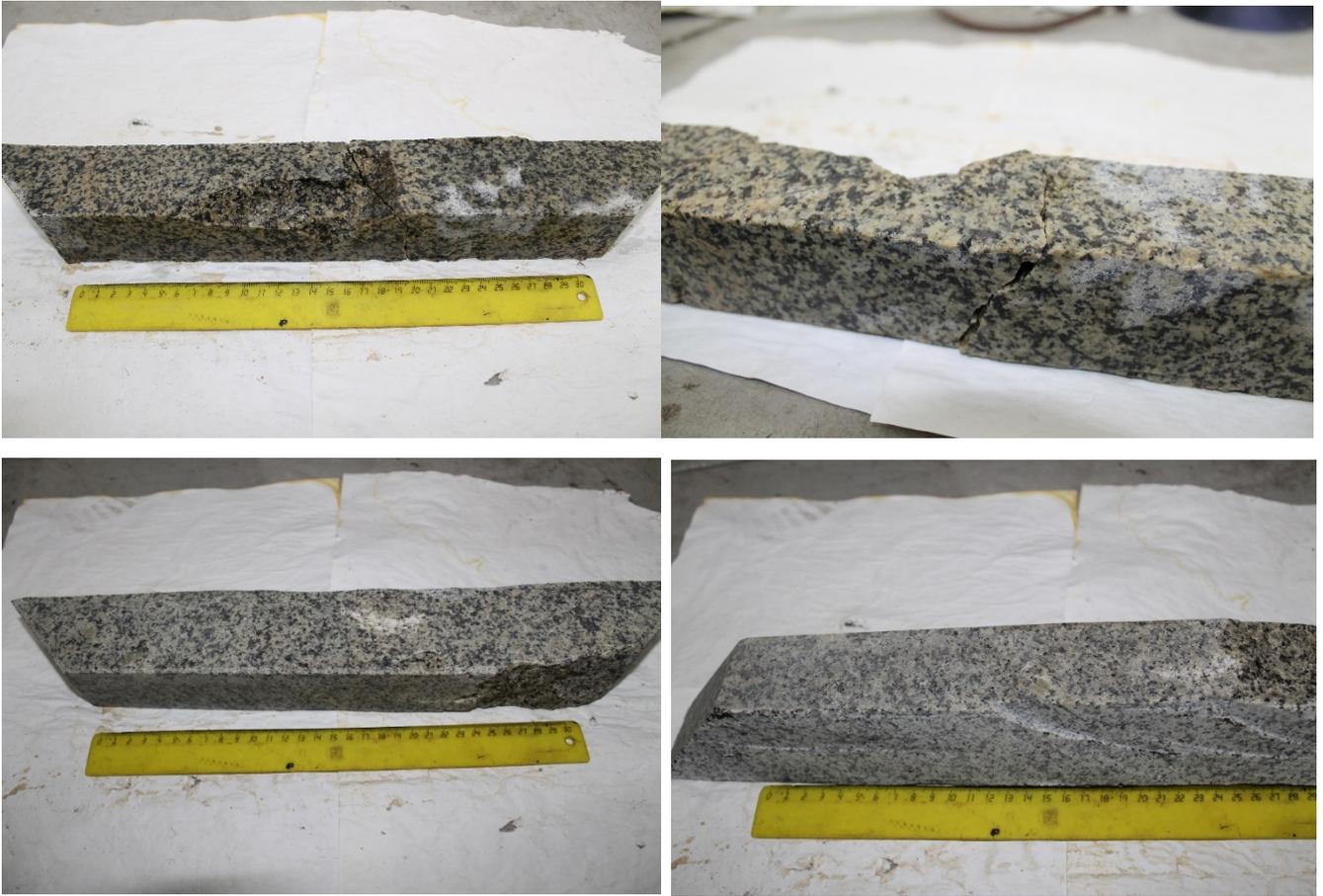


Рисунок 25 – Результаты эксперимента № 3 (сверху первый образец, снизу - второй)

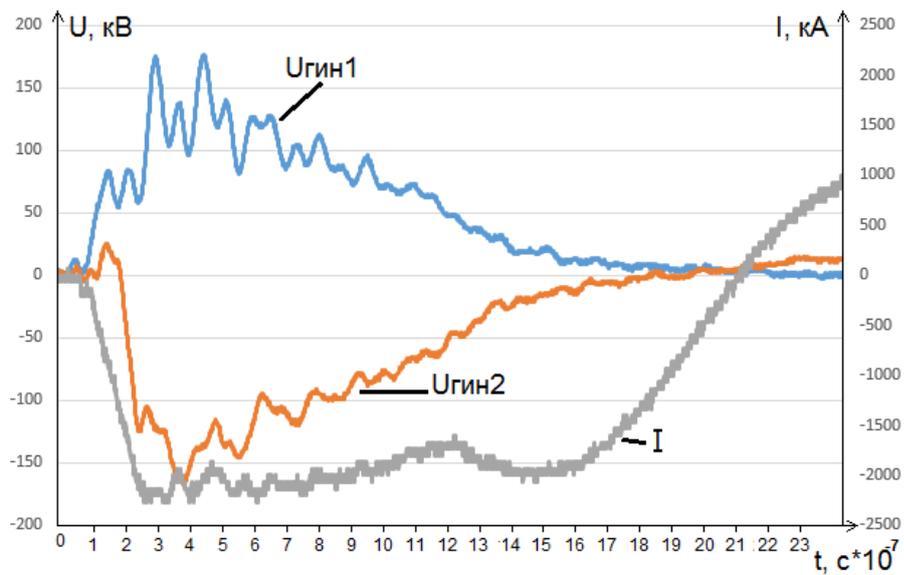


Рисунок 26 – Осциллограмма первого разряда эксперимента № 3

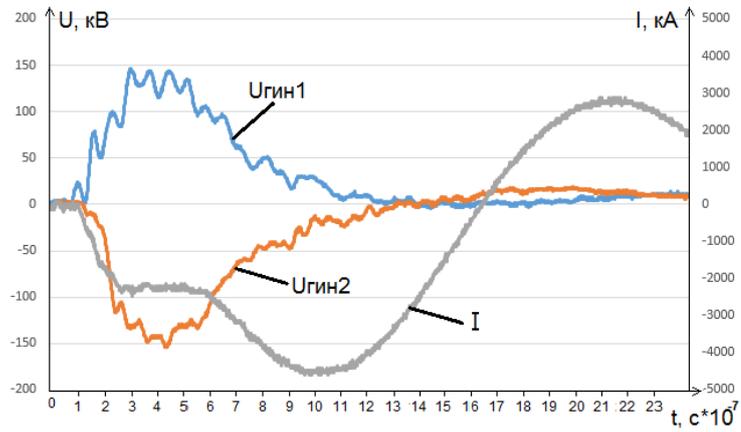


Рисунок 27 – Осциллограмма второго разряда эксперимента № 3

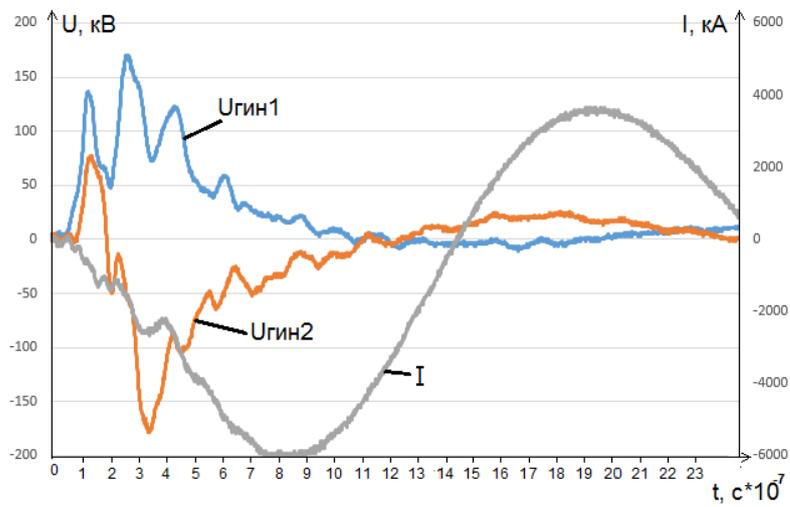


Рисунок 28 – Осциллограмма третьего разряда эксперимента № 3

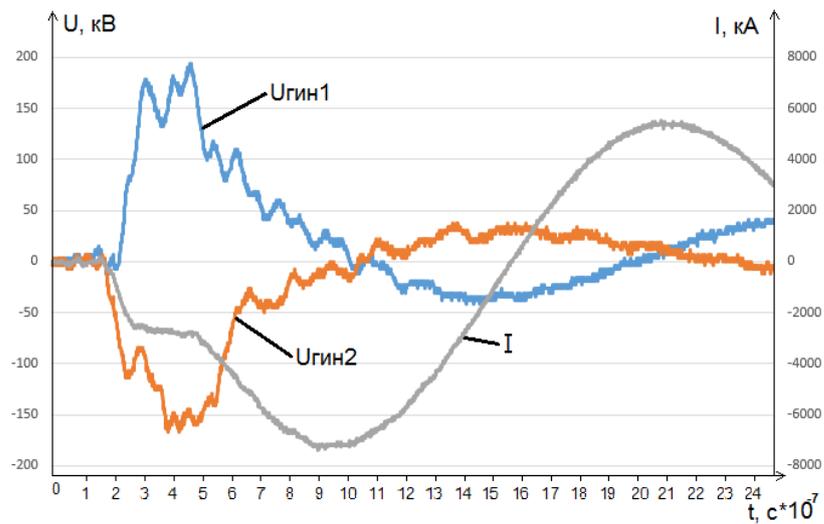


Рисунок 29 – Осциллограмма четвертого разряда эксперимента № 3

Четвертый эксперимент: пробой гранита в воде оказался весьма затруднительным, поэтому черный гранит было решено пробивать в трансформаторном масле.

Первый эксперимент с черным гранитом проводился при раздельном соединении проводов к электродам. (Рисунок 30) Эксперимент проводился на 2-х образцах. В первом образце произошел откол материала в 2-х промежутках, в среднем промежутке произошло внедрение разряда в материал. Во втором образце произошло внедрение разряда в образец в трех промежутках (Рисунок 31).

Общий объем отколотого материала $V_{\text{общ}} = V_1 + V_2 = 1,25 \text{ мм}^3 + 0,2 \text{ мм}^3 = 1,45 \text{ мм}^3$

Таблица 5 – Параметры эксперимента № 4 (U_z – зарядное напряжение Ступени ГИНа; U_a – амплитудное напряжение)

N	U_z (кВ)	U_{a+} (кВ)	U_{a-} (кВ)	Объем, мм ³
1	36,5	-	-	$V=1,25$
2	35,2	101,84	126,16	$V=0,2$

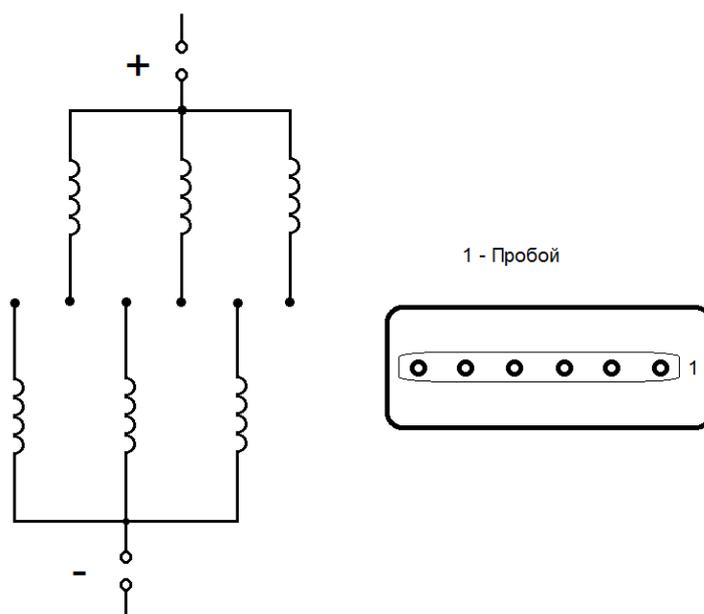


Рисунок 30 - Расположение электродов на образце в эксперименте №4

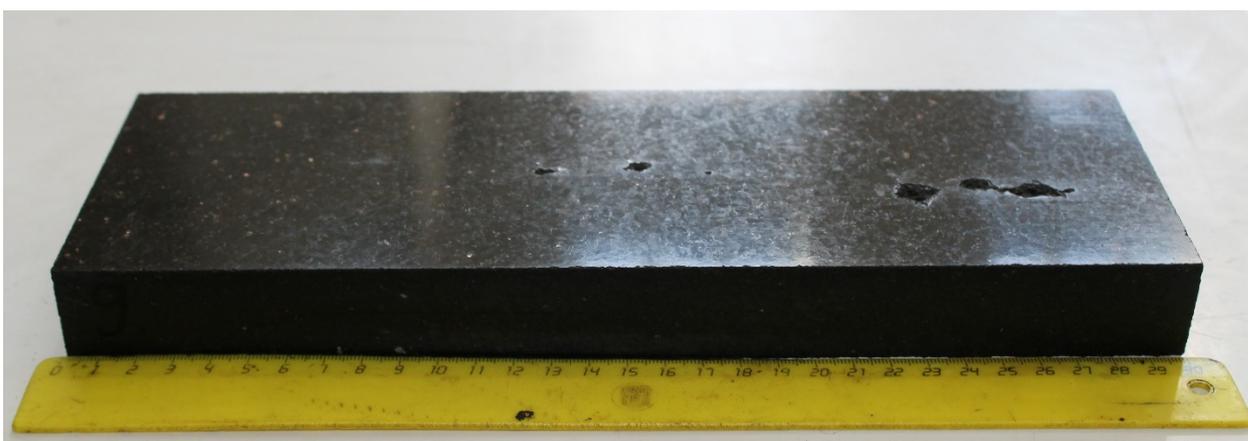


Рисунок 31 - Результаты эксперимента №4 (сверху первый образец, снизу - второй)

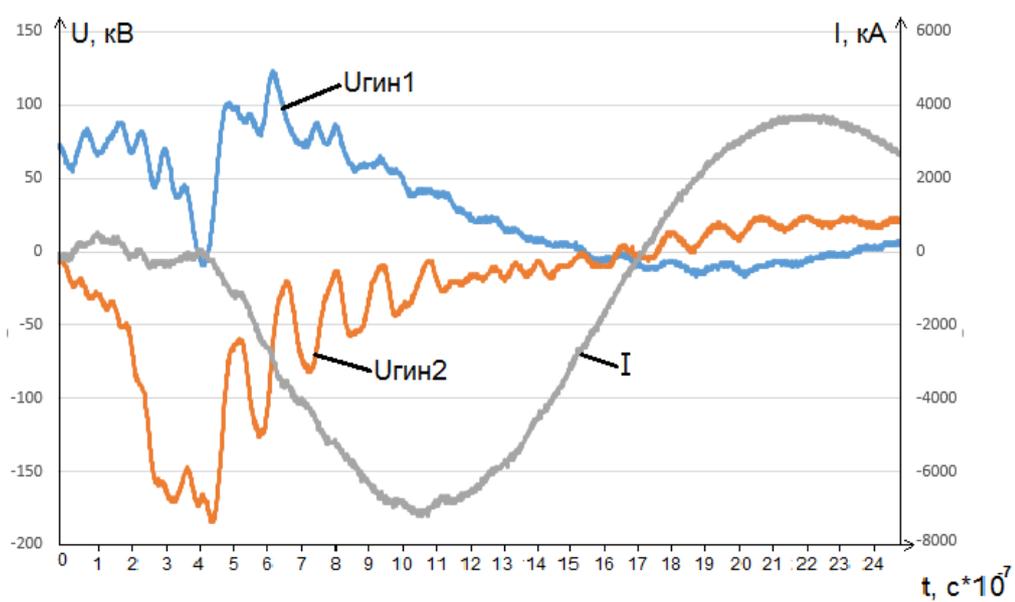


Рисунок 32 – Осциллограмма разряда в первом образце эксперимента № 4

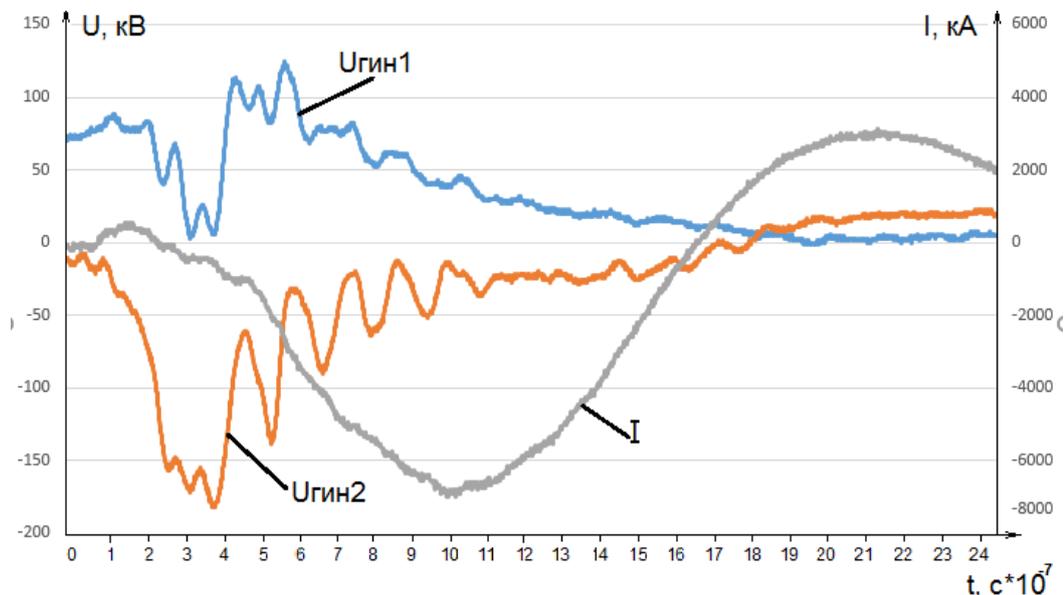


Рисунок 33 – Осциллограмма разряда во втором образце эксперимента № 4

Пятый эксперимент: Второй эксперимент с черным гранитом проводился при соединении электродов у основания медной шиной. (Рисунок 34) Эксперимент проводился на 2-х образцах. В первом образце произошел откол материала в одном промежутке и в одном наблюдалось внедрение разряда. Во втором образце произошел откол в двух соседних промежутках (Рисунок 35).

Общий объем отколотого материала $V_{общ} = V_1 + V_2 = 3,3 \text{ мм}^3 + 0,5 \text{ мм}^3 = 3,8 \text{ мм}^3$

Таблица 6 – Параметры эксперимента № 5 ($U_з$ – зарядное напряжение ступени ГИНа; U_a – амплитудное напряжение)

N	$U_з$ (кВ)	U_{a+} (кВ)	U_{a-} (кВ)	Объем, мм ³
1	36,3	-	-	$V=3,3$
2	36,5	-	-	$V=0,5$

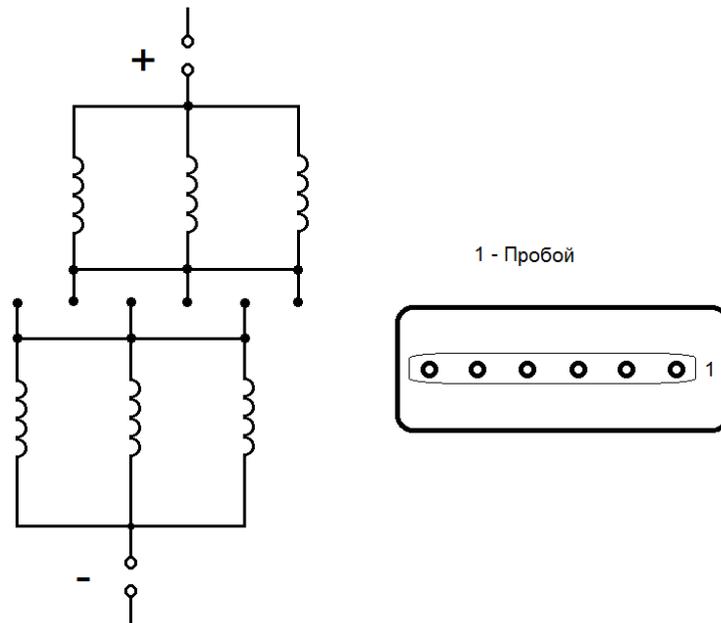


Рисунок 34 - Расположение электродов на образце в эксперименте №5

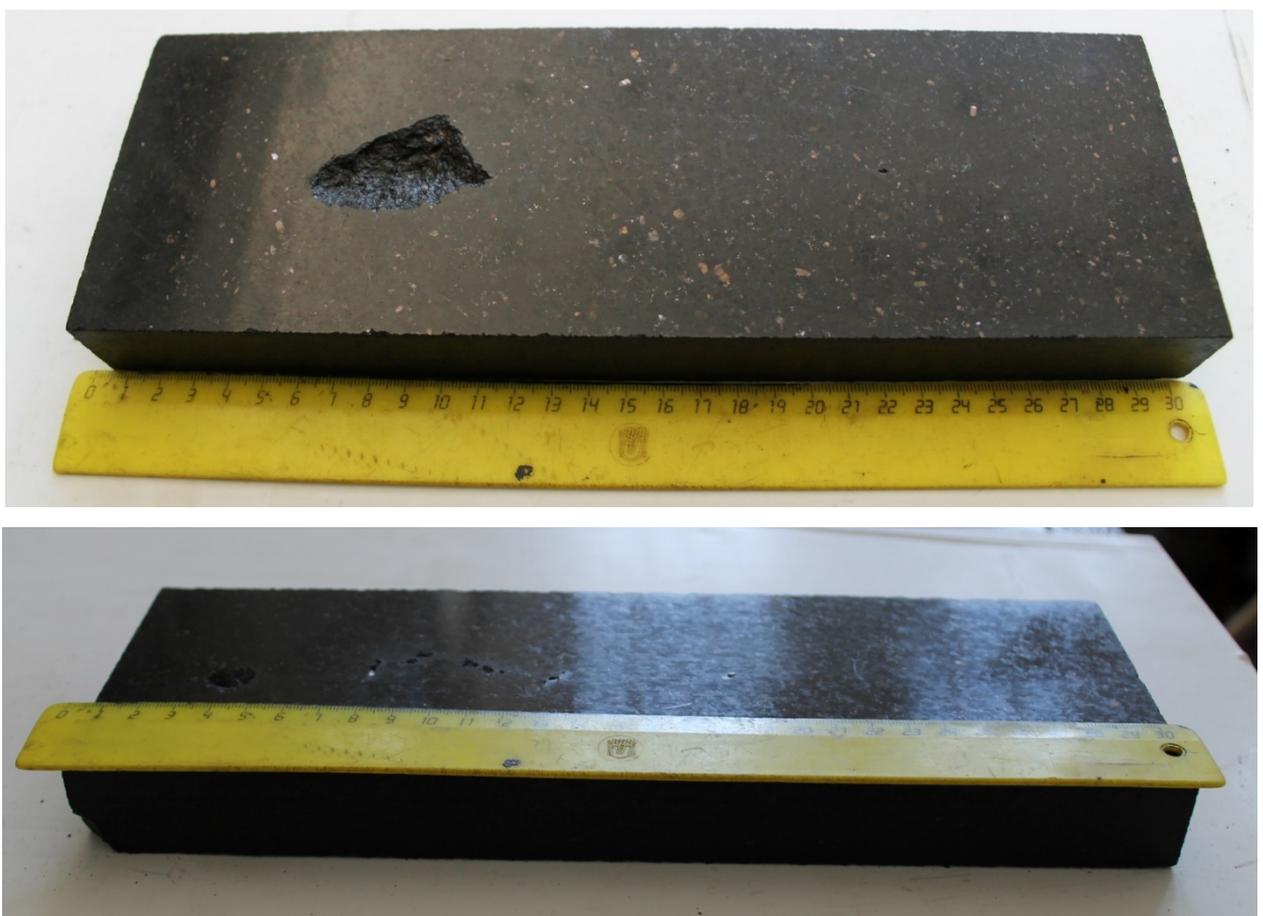


Рисунок 35 - Результаты эксперимента №5 (сверху первый образец, снизу - второй)

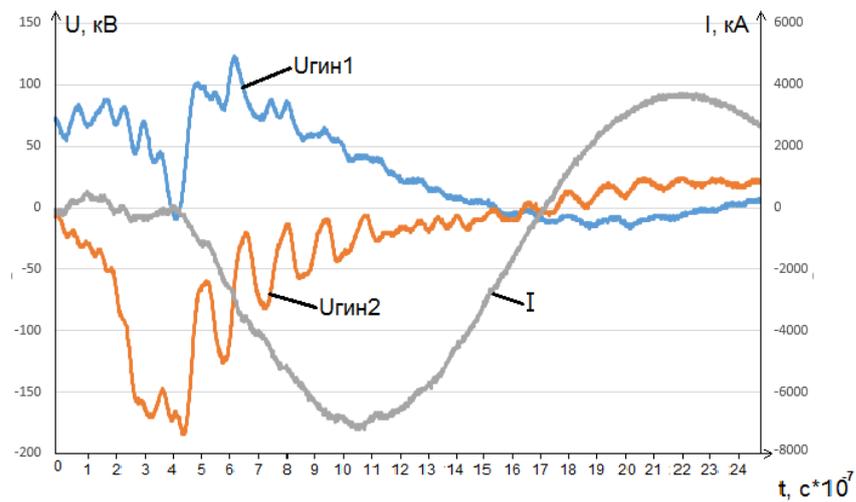


Рисунок 36 - Осциллограмма разряда в первом образце эксперимента № 5

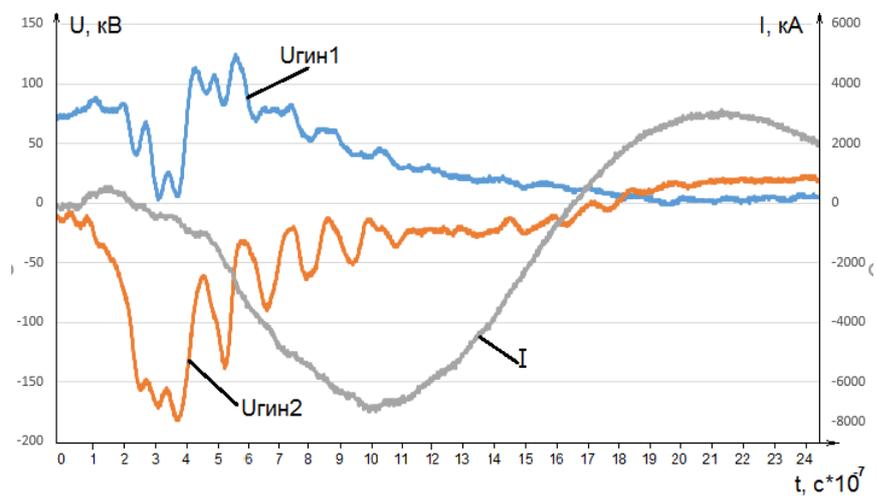


Рисунок 37 - Осциллограмма разряда во втором образце эксперимента № 5

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ72	Робенков Виктор Павлович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»/ «Техника и физика высоких напряжений»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>Стоимость ресурсов научно исследовательского работы (НИР): материально-технических, финансовых и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов, стоимость спецоборудования (В соответствии с рыночными ценами Западно-Сибирского региона), тарифные ставки исполнителей НИР ТПУ (в соответствии с регламентирующими документами планово-финансового отдела ТПУ)</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды – 30%.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>Оценка коммерческого потенциала НИР</i>	<i>Составление карты сегментирования рынка, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ.</i>
<i>Формирование плана и графика разработки и внедрения НИР</i>	<i>Составление перечня этапов и работ, распределение исполнителей, определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения научного исследования.</i>
<i>Составление бюджета научно НИР</i>	<i>Расчет материальных затрат, затрат на спец. оборудование, основная и дополнительная заработные платы исполнителей темы; Отчисления во внебюджетные фонды; Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.</i>
<i>Оценка ресурсной, финансовой эффективности НИР</i>	<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и финансовой эффективности исследования</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Карта сегментирования рынка 2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 3. Матрица SWOT 	

4. Календарный план-график проведения работ научных исследований

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кашук Ирина Вадимовна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Робенков Виктор Павлович		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В текущем разделе рассматривается перспективность, потенциал научно-исследовательской работы, которые определяются высокотехнологичностью, ресурсоэффективностью, ресурсосбережением, конкурентоспособностью и т. д.

Методы бурения горных пород, основанные на механическом разрушении, уже давно начали подходить к пределу своих возможностей и были крайне затратны и трудоемки. Вследствие чего появился электроимпульсный метод разрушения горных пород, который так же неоднократно совершенствовался и дополнялся.

Данная магистерская диссертация посвящена усовершенствованию электроимпульсного способа разрушения горных пород и других твердых диэлектриков, а именно: исследованию многоканального электрического пробоя горной породы (несколько электрических разрядов за один импульс)

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение затрат;
- определение ресурсной и финансовой эффективности исследования.

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

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Электроимпульсное разрушение материалов может использоваться для разных целей: Бурение скважин, дробление твердых материалов, снятие поверхностного слоя бетона, разрушение железобетонных конструкций и т. д.

Потенциальными потребителями технологии электроимпульсного разрушения являются в основном нефте- и газодобывающие компании, научно-

исследовательские институты, а также она может найти себе хорошее применение в атомной промышленности для снятия радиоактивного поверхностного слоя бетона.

Таблица 7 – Карта сегментирования рынка услуг по применению электроимпульсных технологий

Результаты исследований Потребители	Научно-исследовательские институты	нефте- и газодобывающие компании	Атомные станции
Бурение скважин	+	+	-
Снятие поверхностного слоя бетона	+	-	+
разрушение железобетонных конструкций	+	+	-

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Как уже было сказано, исследование многоканального разряда – это усовершенствование технологии электроимпульсного разрушения. Пожалуй, самое масштабное применение электроимпульсного разрушения заключается в бурении скважин, а в этой области сейчас доминируют установки, основанные на механическом бурении, когда горная порода разрушается в результате механического воздействия (резание, раздавливание, скол, истирание) породоразрушающего инструмента на породу забоя.

При электроимпульсном пробое разрушение породы происходит на основе эффекта превышения электрической прочности жидких диэлектриков и воды над прочностью твёрдых диэлектриков и горных пород при времени до пробоя 10^{-6} с и менее

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

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

2) разрушение горной породы в импульсном режиме, устраняющее значительный расход энергии на пластическую деформацию, позволяющее концентрировать большие мощности при невысоких исходных количествах энергии;

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

4) нагружение горной породы с преобладанием напряжений разрыва и сдвига, а не сжатия, т. к. прочность на разрыв и сдвиг существенно (в 10 ÷ 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.

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.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 2.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i ,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 8 Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _к	К _ф	К _к
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда пользователя	0,08	4	2	0,32	0,16
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,04	4	3	0,16	0,12
Помехоустойчивость	0,03	3	4	0,09	0,12
Энергоэкономичность	0,06	4	2	0,24	0,12
Надежность	0,1	4	2	0,4	0,2
Уровень шума	0,03	4	2	0,12	0,06
Безопасность	0,2	3	3	0,6	0,6
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	4	3	0,16	0,12
Простота эксплуатации	0,03	4	2	0,12	0,06
Масса, габариты	0,03	4	2	0,12	0,06

Продолжение таблицы 8

Экономические критерии оценки эффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,04	3	4	0,12	0,16
Уровень проникновения на рынок	0,03	1	5	0,03	0,15
Цена	0,05	4	1	0,2	0,05
Предполагаемый срок эксплуатации	0,03	4	2	0,12	0,06
Послепродажное обслуживание	0,03	4	3	0,12	0,09
Финансирование научной разработки	0,1	5	4	0,5	0,4
Срок выхода на рынок	0,03	3	5	0,09	0,15
Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	0,25	0,25
Итого	1			3,76	2,93

Результаты предполагаемых исследований по данному проекту расширят понимание важности развития потенциала электроимпульсного метода разрушения горных пород, и станут еще одним шагом к переходу метода из области исследования в область производства.

5.1.3 SWOT-анализ

Значимым инструментом маркетингового исследования является SWOT-анализ – это акроним слов 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.

Первый этап – описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта.

Таблица 9 – Матрица SWOT

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокая производительность</p> <p>С2. Меньшая энергоемкость, по сравнению с механическим способом</p> <p>С3. Повышенная стойкость исполнительных органов</p> <p>С4. Экологическая безопасность</p> <p>С5. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний.</p> <p>С6. Актуальность проводимых исследований.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие в составе проектной команды маркетологов и экономистов.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл3. Маленький бюджет не позволяет заниматься слишком подробным изучением</p> <p>Сл4. Отсутствие бизнес-плана по коммерциализации научной разработки.</p> <p>Сл5. Ограничение энергетических возможностей установки.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Освоение и развитие рынка нефте- и газодобычи и др.</p> <p>В2. Использование наработанных знаний в последующих научных исследованиях.</p> <p>В3. Публикации в научных журналах.</p> <p>В4. Привлечение к сотрудничеству других институтов и специалистов по маркетингу.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В6. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Ограничения на экспорт технологии.</p> <p>У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>

Второй этап – выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта						Слабые стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5	С6	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	-	-	+	-	0	+	-
	В2	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-
	В3	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-
	В4	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+
	В5	+	+	+	+	-	+	+	+	0	+	-
	В6	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Угрозы проекта	У1	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-
	У2	0	0	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+

Сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: В1С1С2С3С4; В2С5С6; В3С1С2С3С4С6; В4С5С6; В5С1С2С3С4С6; В6С6.

Сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: В1Сл1Сл4; В2Сл3; В4Сл5; В5Сл1Сл2Сл4.

Сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У2С3С4; У3С5.

Сильно коррелирующие угрозы и слабые стороны проекта: У1Сл1Сл2Сл4; У3Сл3Сл5.

Третий этап – составление итоговой матрицы SWOT-анализа.

Таблица 11 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Высокая производительность</p> <p>С2. Меньшая энергоёмкость, по сравнению с механическим способом</p> <p>С3. Повышенная стойкость исполнительных органов</p>	<p>Сл1. Отсутствие в составе проектной команды маркетологов и экономистов.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p>

Продолжение таблицы 11

	<p>С4. Экологическая безопасность</p> <p>С5. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний.</p> <p>С6. Актуальность проводимых исследований.</p>	<p>Сл3. Маленький бюджет не позволяет заниматься слишком подробным изучением</p> <p>Сл4. Отсутствие бизнес-плана по коммерциализации научной разработки.</p> <p>Сл5. Ограничение энергетических возможностей установки.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Освоение и развитие рынка нефте- и газодобычи и др.</p> <p>В2. Использование наработанных знаний в последующих научных исследованиях.</p> <p>В3. Публикации в научных журналах.</p> <p>В4. Привлечение к сотрудничеству других институтов и специалистов по маркетингу.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В6. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p>	<p>Явные преимущества электроимпульсного способа разрушения горных пород, по сравнению с механическим позволит ему выйти на рынок, и даже заменить механические буровые установки.</p>	<p>Отсутствие бизнес плана затрудняет реализацию установки для производственных нужд.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Ограничения на экспорт технологии.</p> <p>У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>Политическая обстановка в мире может привести к ограничению на экспорт технологии.</p>	<p>Скептическое отношение, к новой технологии. Так же нынешние знания об электро-разрядном процессе не полны.</p>

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель – научный сотрудник, 2 инженера.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Обзор научной литературы по теме	Инженер 1, инженер 2
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
Расчетно-конструкторская часть	4	Моделирование электроразрядного пробоя	Инженер 1, инженер 2
	5	Поиск и закупка материалов	Инженер 1, инженер 2
	6	Расчет параметров схемы установки	Инженер 1, инженер 2

Продолжение таблицы 12

	7	Сборка экспериментальной установки	Инженер 1, инженер 2
Экспериментальная часть	13	Проведение экспериментов электроимпульсного разрушения материалов	Руководитель, инженер 1, инженер 2
Анализ результатов	15	Проведение анализа по проведенным экспериментам	Руководитель, инженер 1, инженер 2
Отчет по проведенной работе	16	Составление пояснительной записки	Инженер 1

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5},$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

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

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Длительность этапа работы, переведенная из рабочих дней в календарные:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 103 - 15} = 1,48,$$

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

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

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

Все рассчитанные значения введены в таблицу 13.

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Исполнители	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях, T_p	Длительность работ в календарных днях, T_k
		t_{min} , чел.-дн.	t_{max} , чел.-дн.	$t_{ож}$, чел.-дн.		
Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3	5	3,8	3,8	6
Обзор научной литературы по теме	Инженер 1	40	60	48	48	71
Выбор направления исследований	Руководитель	3	5	3,8	3,8	6
Моделирование электроразрядно-го пробоя	Инженер 1	14	21	16,8	16,8	25
Поиск и закупка материалов	Инженер 1, инженер 2	20	40	28	14	21
Расчет параметров схемы установки	Инженер 1	3	7	4,6	4,6	7
Сборка экспериментальной установки	Инженер 1, инженер 2	5	10	7	3,5	5
Проведение экспериментов электроимпульсного разрушения материалов	Руководитель, инженер 1, инженер 2	15	30	21	7	10

Продолжение таблицы 13

Проведение анализа по проведенным экспериментам	Руководитель, инженер 1, инженер 2	20	30	24	8	12
Составление пояснительной записки	Инженер 1	4	10	6,4	6,4	10

Календарный план-график представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Календарный план-график проведения работ научных исследований

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ					
				декабрь	январь	февраль	март	апрель	май
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	6						
2	Обзор научной литературы по теме	Инженер 1	71						
3	Выбор направления исследований	Руководитель	6						
4	Моделирование электроразрядно-го пробоя	Инженер 1	25						
5	Поиск и закупка материалов	Инженер 1, инженер 2	21						
6	Расчет параметров схемы установки	Инженер 1	7						
7	Сборка экспериментальной установки	Инженер 1, инженер 2	5						

Продолжение Таблицы 14

8	Проведение экспериментов электроимпульсного разрушения материалов	Руководитель, инженер 1, инженер 2	10						
9	Проведение анализа по проведенным экспериментам	Руководитель, инженер 1, инженер 2	12						
10	Составление пояснительной записки	Инженер 1	10						

Итого: – руководитель (34 дн.); – инженер 1 (161 дн.); – инженер 2 (48 дн.).

Общий объем НИР составил 173 дня.

5.3 Бюджет научно-исследовательской работы (НИР)

5.3.1 Расчет материальных затрат НИР

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); (В соответствии с рыночными ценами Западно-Сибирского региона)

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки занесены в таблицу 15.

Таблица 15 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Высоковольтные конденсаторы	шт.	10	75990	759900
Фторопластовые вставки	м.	0,8	636	508,8
Полипропиленовая труба	м.	4	1723	6892
Рабочая часть разрядников (D1=2,5мм; D2=10 мм)	шт.	20	9,12 (2.5 мм) 125 (10 мм)	1341,2
Основная часть разрядников	м	11,5	275	3162,5
Песчаник	м ²	1	300	300
Гранит	м ²	1	2900	2900
Итого				775004,5

5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для НИР

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе нормы амортизации. Оборудование, которое амортизируется, начинается от 20 тыс. рублей. Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

$$A_r = K \frac{H_A}{100\%}; \quad H_A = \frac{1}{T_r} 100\%$$

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

T_r – гарантийный срок изделия;

H_A – норма амортизационных отчислений.

Таблица 16 – Амортизационные отчисления

№	Оборудование	Кол-во	Цена, руб	Гарантийный срок изделия (T _r), лет	Норма амортиз. отч. (H _A), %	Амортизац. отч. (A _r)
1	Высоковольтный трансформатор	1	56000	5	20	11200
2	Персональный Компьютер	1	45000	5	20	9000
2	Осциллограф	1	35000	5	20	7000
Итого						27200

Затраты на материалы и оборудование приведены в соответствии с рыночными ценами Западно-Сибирского региона.

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей НИР

Основная заработная плата сотрудника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 14);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня $M=12$ месяцев, 5-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент 1	Студент 2
Календарное число дней	365		
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	104	104	104
- праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени			
- отпуск	0	0	0
- невыходы по болезни			
Действительный фонд рабочего времени	247	247	247

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p,$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб. (в соответствии с положением об оплате труда сотрудников ТПУ);

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$);

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб	$Z_{дн}$, руб	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	28924,24	0,3	0,2	1,3	56402,27	2740,2	13	35622,5
Инженер 1	14584,4	0,3	0,2	1,3	28368,6	1378,23	106	146092,54
Инженер 2	14584,4	0,3	0,2	1,3	28368,6	1378,23	22	30321,06
Итого $Z_{осн}$:								212036,1

Тарифные ставки были приняты на основании регламентирующих документов планово-финансового отдела ТПУ [23].

5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей НИР

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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

Данные по дополнительной заработной плате участников НИР приведены в таблице 19.

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

5.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды

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.

Общая ставка взносов составляет в 2018 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ): 22 % – на пенсионное страхование, 5,1 % – на медицинское страхование, 2,9 % – на социальное страхование. При этом сумма взносов к уплате зависит от того, превысил доход установленный лимит или нет.

Ставка 30% будет действовать по 2020 год включительно (ст. 425, 426 НК РФ).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды ($k_{\text{доп}} = 0,12$)

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	35622,5	4274,7
Инженер 1	146092,54	17531,1
Инженер 2	30321,06	3638,5
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого	71243,56	

$$Z_{\text{доп общ}} = 25444,3 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн общ}} = 212036,1 \text{ руб.}$$

5.3.6 Формирование бюджета затрат НИР

Результаты расчета бюджета затрат научно-технического исследования приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат НИР

Затраты и отчисления	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИР	775004,5	Пункт 1.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для НИР	27200	Пункт 1.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей	212036,1	Пункт 1.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	25444,3	Пункт 1.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	71243,56	Пункт 1.3.5
6. Бюджет затрат НИР	1110928,5	Сумма всех затрат и отчислений

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и финансовой эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

В качестве второго исполнения выбрана НИР по расчету и проектированию установки электроимпульсного бурения скважины диаметром 350 мм, сумма затрат которого с учетом инфляции составляет 1389136 руб.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i , – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта приведена в таблице 21.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	5	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4
3. Помехоустойчивость	0,25	4	4
4. Энергосбережение	0,15	5	4
5. Надежность	0,25	4	4
6. Материалоемкость	0,1	4	4
Итого	1	-	-

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}}$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.max}}{I_{исп.i}}$$

Результаты расчетов и сравнения интегральных показателей эффективности приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,87	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	4
3	Интегральный показатель эффективности	4,94	4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,235

Заключение по разделу “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение”:

В разделе была проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований, рассмотрен вопрос планирования

научно-исследовательских работ, определены затраты исследования, а также ресурсная и финансовая эффективность.

Анализ конкурентных технических решений показал, что как, технические, так и экономические критерии оценки эффективности технологии способны заинтересовать партнеров и инвесторов, завоевать доверие покупателей, однако для ее реализации нужно подключить специалистов в области маркетинга.

Первый вариант исполнения получился показал лучшие результаты с позиции финансовой и ресурсной эффективности, а также его исполнение стоило дешевле.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ72	Робенков Виктор Павлович

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/Техника и физика высоких напряжений

Тема ВКР:

Исследование многоканального электрического пробоя горной породы	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – явление многоканального электрического пробоя твердого диэлектрика. Рабочей зоной является высоковольтный зал 11-го корпуса ТПУ. Область применения – разрушение твердых диэлектриков (бурение, дробление, снятие поверхностного слоя бетона, разрушение железобетона)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ; ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»; ГОСТ 23000-78 «Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования»;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	- повышенный уровень шума; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - длительное воздействие электрического поля промышленной частоты (ЭП ПЧ) - отклонение показателей микроклимата; - недостаточная освещенность; - повышенный уровень напряжения.
3. Экологическая безопасность:	Установка не оказывает экологического вреда на гидросферу, литосферу и атмосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Основные причины возникновения пожара и взрыва: Воспламенение изоляции электрических проводов, генератора, трансформаторов, в результате длительного воздействия повышенной нагрузки, короткого замыкания или аварийных ситуаций.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Робенков Виктор Павлович		

6 Социальная ответственность

Магистерская диссертация посвящена совершенствованию электро-разрядного способа разрушения горных пород и других твердых диэлектрических материалов, а именно осуществление многоканального электроразряда (в нескольких местах за один импульс). Работа выполняется на генераторе импульсных напряжений. Данное усовершенствование позволит проводить такие работы, как бурения скважин, резания горных пород, поверхностной обработки камня, дробления и измельчения руд, утилизации бетонных и железобетонных изделий быстрее. Потенциальными потребителями разрабатываемого решения являются компании, специализирующиеся на перечисленных выше работах.

Все расчеты и эксперименты проводятся в высоковольтном зале в 11 корпусе Томского Политехнического Университета.

Целью раздела «Социальная ответственность» является анализ объектов исследования на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредных воздействий, оценка степени воздействия их на человека.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно 91 статье Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ [24] нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. Работодатель обязан вести учет времени, фактически отработанного каждым работником.

Рабочее место при выполнении работ в положении стоя (сидя) должно соответствовать требованиям, указанным в ГОСТе 12.2.033-78 (в ГОСТе 12.2.032-78) «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя (сидя). Общие эргономические требования» [25,26].

По ГОСТ 23000-78 «Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования» [27] пульты управления для работы в положении сидя должны иметь пространство для ног оператора с размерами не менее:

- 600 мм – по высоте;
- 400 мм – по глубине (на уровне колен);
- 600 мм – по глубине (на уровне пола);
- 500 мм – по ширине.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [28] высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперед до 15° и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной – 50-70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм.

Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки

до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

6.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [29]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлена в таблице 23.

Таблица 23 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Повышенный уровень шума			+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»
Повышенный уровень электромагнитных излучений			+	ГОСТ 12.1.006–84 ССБТ. «Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот.»

Продолжение таблицы 23

Длительное воздействие электрического поля промышленной частоты (ЭП ПЧ)		+	+	ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.»
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
Недостаточная освещенность	+	+	+	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»
Повышенный уровень напряжения			+	ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)»

6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Повышенный уровень шума

Основными источниками шума на испытательной площадке является генератор импульсного напряжения.

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его внутренних органах и нервной системе, способствуя развитию утомления, снижению работоспособности, внимательности и производительности труда, изменениям в сердечно-сосудистой системе и появлению общих и профессиональных заболеваний (тугоухость, неврит слухового нерва и др.), а также производственный травматизм.

Согласно санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [30] предельно допустимый уровень звука на рабочем месте для трудовой деятельности – 65 дБ.

Мероприятия по снижению шума от генератора импульсного напряжения были приняты при конструировании, путём расположения высоковольтных разрядников в непрозрачной толстостенной диэлектрической трубе. Так же во время испытания применяются защитные противозумные наушники.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Основным источником электромагнитных излучений в лаборатории является генератор импульсного напряжения.

Длительное воздействие на человека электромагнитных полей промышленной частоты приводит к расстройствам сердечно-сосудистой и центральной нервной систем: вялость, раздражительность, апатия, боли в сердце и голове, расстройство сна, нарушение работы органов дыхания и пищеварения, возможны изменения в составе крови.

Максимальная возможная частота работы генератора импульсных напряжений – 150 кГц. При таком показателе частоты безопасной нормой для человека считаются следующие показатели: $E=500$ В/м, $H=50$ А/м, $\text{ЭН}_E=20000$ (В/м)²·ч, $\text{ЭН}_H=200$ (А/м)²·ч (ЭН-энергетическая нагрузка) [31].

Для защиты персонала от воздействия радиоволн ЭМ излучения применяется, экранирующие средства поглощающих или отражающих электромагнитную энергию и ограничение пребывания в зоне рабочего места работающего генератора.

Длительное воздействие электрического поля промышленной частоты (ЭП ПЧ)

ЭП ПЧ создаётся в рабочей зоне вследствие работы высоковольтного трансформатора. В результате длительного воздействия ЭП ПЧ на организм человека могут развиваться нарушения в деятельности сердечно-сосудистой и центральной нервной системы (ЦНС), органов дыхания и пищеварения, возможно изменение состава крови и др. Нормативно установленный уровень напряженности воздействующего ЭП составляет 25 кВ/м. Если величина

напряженности ЭП более 25 кВ/м, то пребывание в этой зоне без применения средств защиты не допускается [32].

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

Отклонение показателей микроклимата

Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [33] предназначены для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.

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

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Оптимальные величины показателей микроклимата [33]

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	22-24	21-25	60-40	0,1

Для поддержания допустимых величины показателей климатических условий рабочей зоны необходимо конструирование специального технического помещения. В холодный период года – отопление, вытяжная вентиляция, средства индивидуальной защиты от охлаждения, а в теплый период – естественная и приточная вентиляции поддерживают температуру воздуха на рабочих местах.

Недостаточная освещенность

Недостаток освещения может очень плохо сказаться на продуктивности работы зрительного аппарата. Так же это может: повлиять на психику человека, его эмоциональное состояние; вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Для оптимизации условий труда имеет большое значение освещение рабочих мест. Задачи организации освещённости рабочих мест следующие: обеспечение различаемости рассматриваемых предметов, уменьшение напряжения и утомляемости органов зрения. Производственное освещение должно быть равномерным и устойчивым, иметь правильное направление светового потока, исключать слепящее действие света и образование резких теней.

Требования к освещению помещений указаны в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [34], согласно которому для зрительных работ средней точности, освещенность, при системе общего освещения, должна составлять 400 лк.

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

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

Повышенный уровень напряжения

В качестве накопителя энергии ускорителя служит генератор импульсных напряжений, напряжение на выходе которого может достигать 400 кВ.

При нахождении в близости к электрооборудованию через тело человека может возникнуть цепь электротока по любому из семи перечисленных ниже сценариев:

- непосредственное прикосновение различными частями тела к двум разным полюсам источника;
- прикосновение к одному полюсу, обладающему потенциалом относительно земли;
- попадание под остаточный заряд, сохранившийся на схеме после ее отключения;
- действие наведенного заряда в металлических проводниках, оборудовании, не имеющем непосредственной связи с действующими источниками напряжения;
- возникновение разряда статически скопившегося электричества;
- образование эффекта напряжения шага;
- создание благоприятных условий для аварийного пробоя электрической изоляции, образованной воздушным расстоянием до потенциала.

Проходя через тело человека, электрический ток производит термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве и повреждении кровеносных сосудов; электролитическое – в разложении органической жидкости, в том числе крови, что вызывает нарушение ее состава, а также ткани в целом; механическое – в расслоении, разрыве тканей организма; биологическое – в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также

в нарушении внутренних биологических процессов. Взаимодействуя с биотоками организма, внешний ток может нарушить нормальный характер их воздействия на ткани и вызвать непроизвольные сокращения мышц.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов регламентируются ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)» [35].

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения при аварийном режиме производственных электроустановок с частотой тока 50 Гц, напряжением выше 1000 В, с глухим заземлением нейтрали не должны превышать значений, указанных в таблице 25.

Таблица 25 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения

Продолжительность воздействия t, с	До 0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	Св. 1,0 до 5,0
Предельно допустимое значение напряжения прикосновения U, В	500	400	200	130	100	65

Для защиты от повышенного уровня напряжения предусмотрены следующие средства защиты:

- изолирующая штанга;
- диэлектрические перчатки, боты и галоши, ковры, изолирующие подставки;
- защитные ограждения (Металлическая сеть; изолирующие щиты, колпаки накладки).

6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Высоковольтный зал удовлетворяет всем требованиям технической документации и обеспечивает возможность безопасного и удобного проведения работ.

Диэлектрическая труба, в которой расположены разрядники значительно уменьшают громкость, но иногда этого недостаточно, так как в зависимости от результата опыта звук может быть значительно тише или громче. Поэтому, в зале имеются защитные наушники, защищающие от любых возможных звуков, которые издает генератор импульсных напряжений. Наушники рассчитаны на уровень шума до 110 дБ.

Испытательная установка ограждена металлической сетью, которая служит экраном, понижающим степень распространение электромагнитного излучения. Для защиты персонала от воздействия радиоволн ЭМ излучения применяется, экранирующие средства поглощающих или отражающих электромагнитную энергию и ограничение пребывания в зоне рабочего места работающего генератора.

В зале установлена приточно-вытяжная вентиляция, для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата. Относительная влажность воздуха должна быть в пределах 40-60%. В комнате управления высоковольтного зала, а также в кабинете с компьютером, где записываются и обрабатываются результаты эксперимента, необходимо обеспечить величину освещенности в 400 лк. В комнате управления это обеспечивается люминисцентными лампами, в кабинете с компьютером совместно лампами и естественным освещением.

Так же присутствуют средства защиты от высокого уровня напряжения: изолирующая штанга; диэлектрические перчатки, боты и галоши, ковры, изолирующие подставки; защитные ограждения (металлическая сеть; изолирующие щиты, колпаки накладки).

6.3 Экологическая безопасность

Электроимпульсный способ разрушения материалов является экологически чистым и не содержит загрязняющих факторов, за исключением одного. Поскольку пробитие твердого диэлектрика производится в жидкой среде, приходится делать выбор рабочей жидкости. Вода считается оптимальным вариантом: в ней можно разрушить большинство твердых диэлектриков, и она является экологически чистой, не загрязняя ни атмосферу, ни гидросферу, ни литосферу. После проведения работ, воду очищают от земли, чтобы повысить ее электроизоляционные свойства

Но есть материалы, которые легче пробить в трансформаторном или солярном масле, и если выбрать его, в качестве рабочей жидкости, то при попадании его на землю и воду произойдет загрязнение литосферы и гидросферы. В настоящее время по требованиям экологии эти жидкости использовать запрещено.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятными из чрезвычайных ситуаций являются возникновения пожара и взрыва, которые могут возникнуть из-за неисправности электрооборудования. Основные причины возникновения пожара и взрыва: Воспламенение изоляции электрических проводов, генератора, трансформаторов, в результате длительного воздействия повышенной нагрузки, короткого замыкания или аварийных ситуаций. Образование взрыва в результате не правильной работы с баллонами и редукторами соединительных шлангов.

Для предотвращения образования пожара и взрыва прибегают к следующим действиям: проверка операционного персонала на предмет знаний пожаровзрывной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами и нормами, плановый осмотр установок. [36]

При возникновении пожаровзрывной ситуации, определён следующий алгоритм действий: Вызов специальной службы; Отключение от сети питания

электроустановок и электрооборудования; Изоляция всей системы подачи рабочего газа и баллонов; Организовать эвакуацию из рабочей зоны, или, при возможности оперативно приступить к ликвидации очага пожара первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ОУ-5-ВСЕ, пожарный рукав, бак с песком).

Заключение по разделу “Социальная ответственность”

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, при работе на установке электроимпульсного разрушения проведен анализ опасных и вредных производственных факторов. К таковым относятся повышенный уровень шума, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, повышенный уровень электромагнитных и ионизирующих излучений, повышенный уровень напряжения. Источником всех вышеперечисленных производственных факторов является ускорительная установка. Обоснованы мероприятия по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя. Рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях. Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является возникновение пожара вследствие короткого замыкания токоведущих частей. Разработан порядок действия в результате возникновения чрезвычайной ситуации и меры по ликвидации её последствий.

Грамотное соблюдение норм и правил, приведенных в нормативных документах, позволяет снизить воздействие вредных и опасных факторов на окружающую среду и организм человека при работе над научно-исследовательским проектом.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был исследован многоканальный электроимпульсный пробой твердых диэлектриков (песчаник и гранит) в разных диэлектрических средах (вода, трансформаторное масло).

По результатам эксперимента показана возможность осуществления пробоя горной породы в нескольких межэлектродных промежутках за один импульс в среде трансформаторного масла и технической воды.

При отдельной индуктивности электродов, энергия электроимпульсного разряда распределяется примерно одинаково между всеми электродными промежутками, поэтому объем отколотого материала между ними одинаковый.

При объединении индуктивностей, большая часть энергии проходит через какой-то один промежуток, поэтому объем отколотого материала в одном из этих промежутков значительно превосходит остальные.

Результирующий объем отколотого материала между промежутками при объединенной индуктивности больше ($4,1 \text{ мм}^3$ - пробой песчаника; $3,8 \text{ мм}^3$ - пробой гранита), чем при отдельной индуктивности ($1,2 \text{ мм}^3$ - пробой песчаника; $1,45 \text{ мм}^3$ - пробой гранита)

Можно сделать вывод, что чем больше индуктивность проводов, соединяющих электроды с батареей конденсаторов, тем проще осуществить многоканальный пробой, однако по технологическому эффекту он уступает обычному одноканальному. Вероятнее всего, при приложении большей энергии, объем отколотого материала при многоканальном пробое будет больше чем и обычного одноканального.

В опытах с гранитом в воде приходилось прикладывать большее напряжение, чем в опытах с песчаником (Зарядное напряжение ступени ГИНа от 38 до 45,6 кВ для гранита в воде по сравнению с 36 кВ для песчаника в воде), однако, осуществить нормальный многоканальный пробой так и не получилось.

В опытах, проводимых с гранитом в масле, зарядное напряжение 36 кВ было достаточно чтобы произвести многоканальный пробой, следовательно, трансфор-

маторное масло является более благоприятной средой для осуществления многоканального пробоя гранита.

Список используемых источников:

1. Семкин Б.В., Усов Ю.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. – СПб.: Наука, 1995. – 276 с.
2. Воробьев Г.А., Похолков Ю.П., Королев Ю.Д., Меркулов В.И. Физики диэлектриков (область сильных полей): Учебное пособиею – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 244 с.
3. В. Ф. Важнов, В. А. Лавринович, С. А. Лопаткин. Техника и Физика высоких напряжений. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 119 с.
4. Воробьев А.А. Электрические разряды обрабатывают материалы, разрушают твердые тела // Изв. Томск, политехи, ин-га. Томск: Изд-во ТГУ, 1958. Т.95. С.315-339.
5. Воробьев А.А., Воробьев Г.А., Чепиков А.Г. Российская академия естественных наук. Научное открытие: Закономерность пробоя твердого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульсного напряжения. Диплом № 107. М., 1999. Регистрационный № 122. Приоритет 14 декабря 1961 г.
6. Профессора Томского политехнического университета 1991-1997: Биографический сборник/Составители и отв. Редакторы А. В. Гагарин, В. Я. Ушаков. – Томск: Изд-во НТЛ, 1998 – 292 стр.
7. Система электронного обучения ТГАСУ, электрофизические технологии производства и активации строительных материалов [Электронный ресурс] / Дата: Среда, 22 мая 2019 года – Режим доступа: <http://izido.ru/mod/book/tool/print/index.php?id=6309>
8. Нашилевский А. В. Высоковольтный импульсный генератор для удаления поверхностного слоя бетона: диссертация на соискание учёной степени к.т.н. / А. В. Нашилевский; Томский политехнический университет, Томск, 2018.

9. Жгун Д. В. Исследование электроимпульсного пробоя и разрушения гранита и бетона в воде: диссертация на соискание учёной степени к.т.н. / Д. В. Жгун; Томский политехнический университет, Томск, 2000.
10. Боев С. Г. Разработка электроимпульсных технологий в НИИ Высоких напряжений // Известия Томского политехнического университета, 2000, с. 133–134.
11. Goldfarb V., Bundy R., Dunton A., Shneerson G., Krivosheev S., Adamian Yu. Removal of surface layer of concrete by pulse-periodical discharge // Digest of Technical Papers 11th IEEE International Pulsed Power Conference – USA, Baltimore, 1998. – V.2. – P. 1078–1085.
12. Утилизация некондиционных железобетонных изделий электроимпульсным способом / Н. Т. Зиновьев, Б. С. Левченко, Б. В. Семкин, Ж. Г. Танбаев // Электрон, обраб. материалов. 1990. N 4. С.81-83.
13. Каляцкий И. И., Лимасов А. И. Исследование импульсной электрической прочности некоторых твердых диэлектриков в больших толщинах // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1964. N 2, вып. 1.
14. Лимасов А. И., Чепиков А. Т. Исследование пробоя горных пород при импульсном воздействии напряжения // Пробой диэлектриков и полупроводников. М.; Л.: Энергия, 1964. С.176-179.
15. Лимасов А. И., Чепиков А. Т. Вольт-секундные характеристики полярных и неполярных жидкостей // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1962. N 8. С.22-26.
16. Семкин Б. В. Электрический взрыв в конденсированных средах. Томск: Изд-во Томск, политехн, ин-та, 1979. 89 с.
17. Важов В. Ф. Развитие научно-технических основ электроимпульсного бурения и резания горных пород: автореферат диссертации на соискание ученой степени д. т. н. / В. Ф. Важов; Томский политехнический университет, Томск, 2014.
18. Усов А. Ф. Перспективы технологий электроимпульсного разрушения горных пород и руд // Известия РАН. Энергетика. -2001. - № 1. - С. 54-62.

19. Усов А. Ф., Бородулин В. В. Проблема улучшения удельных массогабаритных и энергетических характеристик технических средств электроимпульсного разрушения материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 9. – С. 375–379.
20. Усов А. Ф., Потокин А. С. Концептуальные решения для создания компактных мобильных технологических комплексов на основе электроимпульсного способа разрушения материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 2. – С. 260–269.
21. Усов А.Ф., Потокин А.С. Импульсное трансформирование напряжения и энергии для электроимпульсного разрушения материалов. // Труды Кольского научного центра РАН сер. Энергетика, вып. 9, 2014, с. 40-49.
22. Усов А.Ф., Хи М. Арктические перспективы электроимпульсного способа разрушения материалов и задачи их научно-технического обеспечения. Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 2 (25). С. 111-123.
23. Должностные оклады ППС и педагогических работников - [Электронный ресурс]: Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации – URL: <https://legalacts.ru/kodeks/TK-RF/chast-iii/razdel-vi/glava-21/statja-147/> – (дата обращения: 26.03.2019)
24. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ;
25. ГОСТ 12.2.033-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования»;
26. ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»;
27. ГОСТ 23000-78 «Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования»;
28. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;

29. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»;
30. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;
31. ГОСТ 12.1.006–84 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.;
32. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 7с.;
33. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;
34. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»;
35. ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)»;
36. ППБ 01–03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.

Приложение А
(обязательное)

Разделы (1, 3)

Theoretical background

Experimental procedure

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Робенков Виктор Павлович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Юдин Артем Сергеевич	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ОИЯ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Юлия Петровна			

A1 Theoretical background

A1.1 Electric discharge effects on materials and media

An electric discharge is a process of charged particles flow in the environment, as a result of a significant increase in its electrical conductivity relative to the normal state.

When this happens, substances such as dielectrics and semiconductors lose their electrical insulating properties, in other words, their electrical breakdown occurs under the action of an electric field of high voltages. The minimum voltage at which the breakdown of a substance occurs is called breakdown and is denoted U_{pr} . [2]

The range of electric discharge effects on materials and media is very wide and very complex, since it depends on many factors, such as: type of dielectric, its temperature and structure, parameters of the applied voltage, etc. The most significant influence on the mechanism of formation of an electric discharge in dielectrics their state of aggregation, in other words, they can be divided into gaseous, liquid and solid.

Air still remains the main type of external insulation of power lines, and SF₆ gas (sulfur hexafluoride or SF₆ six-phosphorus sulfur) is widely used in insulation of bus ducts and conductors. Gaseous dielectrics have the ability to restore their conductive properties, as, indeed, liquid, unless of course the electrical discharge does not change their chemical composition. Their insulating properties are influenced by: pressure, temperature, structure and the presence of impurities. However, of the three types of dielectrics, gaseous have the weakest insulating properties and all of them are distinguished by a relatively small breakdown voltage.

The dielectric strength of liquid dielectrics is significantly greater than gas. Therefore, they have found their application in high-voltage insulation in various devices: transformers, cables, transmission lines, capacitors, switches, arresters, etc. Unlike the mechanism of electrical breakdown in gas dielectrics, in liquid and solid dielectrics, this phenomenon is not fully understood. Breakdown in liquid dielectrics is influenced by many factors, such as: pollution, moistening, viscosity, temperature, pressure, the presence of barriers, the duration of the voltage, the shape and area of the electrodes, and the polarity of the electrodes when their shape is asymmetric. [3]

Solid dielectrics are of greater scientific interest and are more popular than all others, not only because of complex processes or electrical strength, which is higher than that of liquid and gaseous dielectrics, without them, in principle, no electrical insulation design can be made, at least presently. Solid dielectrics do not restore their insulating properties; after a breakdown, the insulating structure collapses. [2]

The electrical strength of solid insulation depends on various factors: the geometry of the electric field, the polarity and type of voltage, the type and characteristics of the dielectric structure, temperature, time of exposure to voltage, etc.

A1.1 The invasion effect of the discharge channel in the dielectric under a layer of liquid

The first mention of the possibility of using electropulse destruction of solid materials appeared in the late forties. It was then that Alexander Akimovich Vorobyev and Ekaterina Konstantinovna Zavadovskaya, professors of the Tomsk Polytechnic University, proposed a completely new method of breaking solid materials based on electrical breakdown using high (hundreds of kilovolts) pulsed voltage. [4]

At the beginning of the rebound of the rock by this method was very difficult, often there was no discharge inside the array, but overlap on the surface, because solid dielectrics have much greater electrical resistance compared to air. It was possible to circumvent this limitation by two solutions. The first of these was to create an electrically more solid material around the material than air, for example, transformer oil, water, or other dielectric liquids. This decision naturally came out of research on the electrical strength of various materials. The second solution was derived based on the research of Grigori Abramovich Vorobiev, Alexander Akimovich Vorobiev and Alexander Timofeevich Chepikov. They were able to establish the conditions under which the dielectric strength of solid dielectrics became less than that of liquid ones. This is explained using Figure 1.

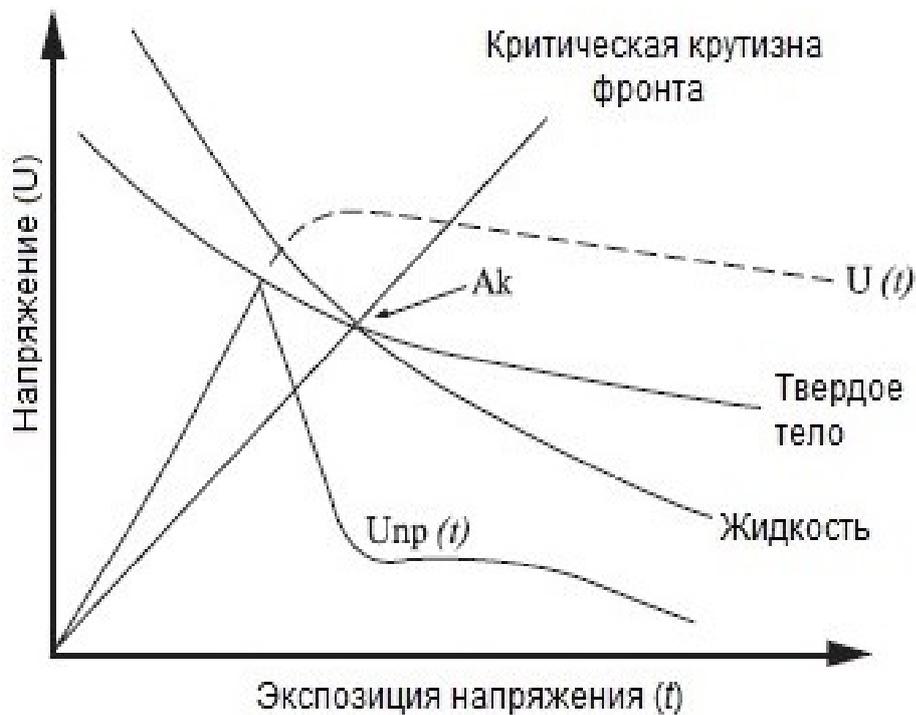


Figure 1 - Condition of electric pulse destruction; Comparison of current-voltage characteristics of various environments (A_k - the critical slope of the front; $U(t)$ - the voltage impulse; $U_{pr}(t)$ - the voltage impulse during the breakdown)

The dependence of voltage on the time of the pulse (voltage exposure) is called the volt-second characteristic (VSC). Figure 1 shows that with a decrease in the pulse voltage exposure, the dielectric strength of solid dielectrics increases more slowly than liquid until it becomes less.

Examples of comparison of the VSH of some substances can be seen in Figure 2. It can be seen from it that with an exposure of 10^{-7} and below, the dielectric strength of transformer oil and water becomes greater than the strength of all solids in the figure.

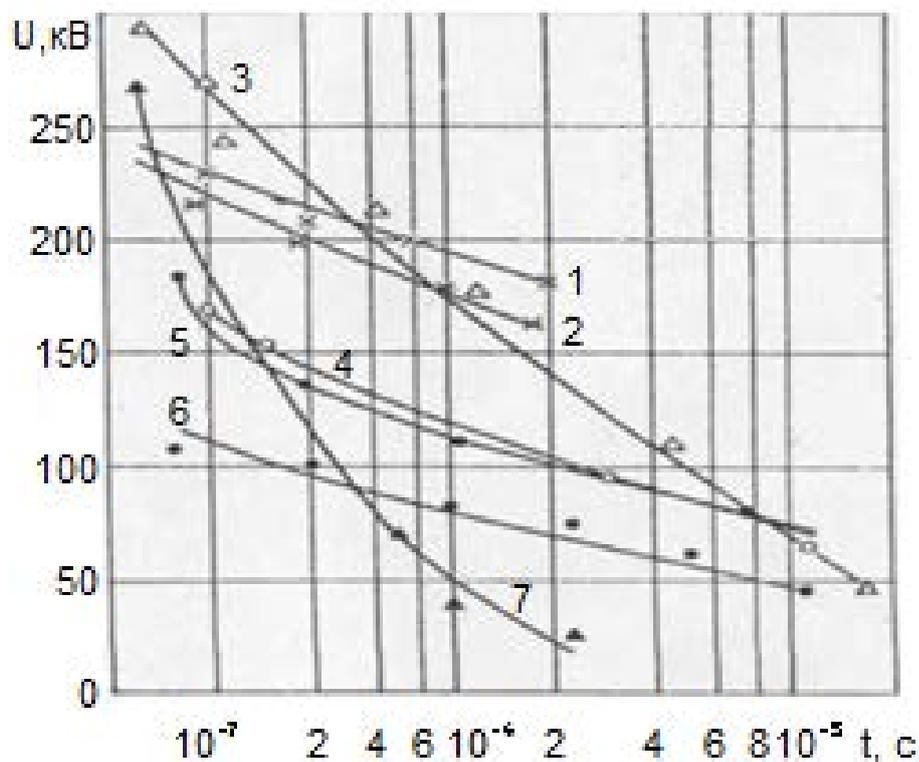


Figure 2 - Comparison of the volt-second characteristics of different materials (1 - quartz, 2 - porphyry felzite, 3 - transformer oil, 4 - marble, 5 - clay slate, 6 - sandstone, 7 - water)

The first experimental studies of this method, conducted by A.T. Chepikov formed the basis for the development of high-voltage electropulse process plants for the destruction of rocks, ores and solid dielectric and semiconducting materials (concrete, quartz, ceramics, corundum, etc.). Laboratory and pilot industrial electro-impulse installations for crushing and grinding ores, cutting rocks and concrete, drilling and drilling wells and trunks were developed and manufactured. [5]

A3 Experimental procedure

A3.1 Description of the experimental facility

The experiments were provided on a facility consisting of two parallel-connected PVGs (pulse voltage generator) according to the Arkadyev-Marx scheme.



Figure 8 - Experimental setup (on the left side - 2 PVGs and discharge chamber, on the right side - electrode system)

The PVGs voltage supply electrode system, due to the diodes D1, D2, one part of the system is charged positively, the other - negatively (Figure 9). The electric discharge occurs on a signal from the control panel (Б3).

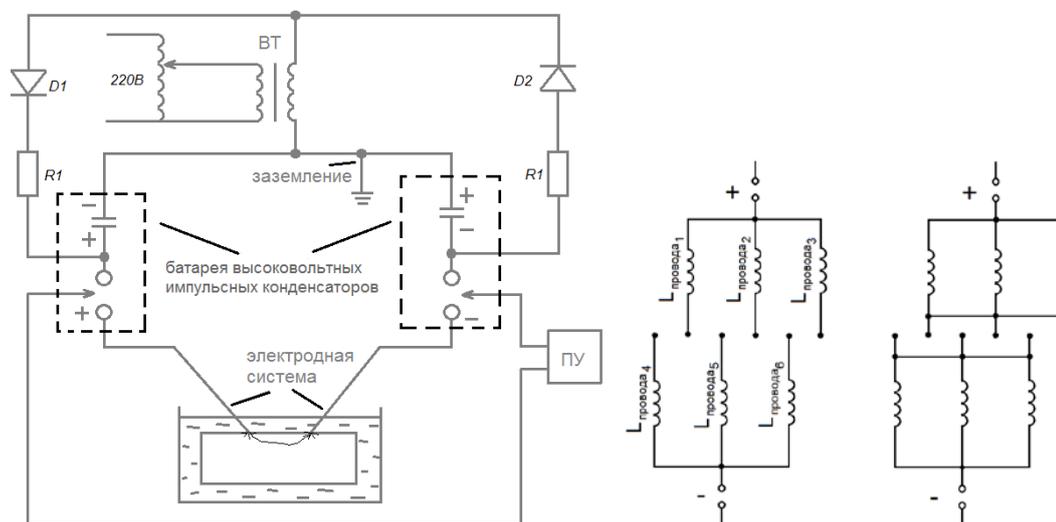


Figure 9 - Experimental facility (right), electrode system (left)

Pulse voltage generator PVG consists of:

- high voltage transformer
- generator

- voltage divider
- battery of high-voltage pulse capacitors
- charger
- grounding device
- control panel

The discharge chamber consists of:

- tank with liquid
- electrode system

Parameters of the electrode system:

- interelectrode distance = 45 mm
- electrical resistance = 90 ohm
- inductance of wires ($L_{\text{провода1}} = 6.76 \text{ nH}$; $L_{\text{провода2}} = 6.01 \text{ nH}$; $L_{\text{провода3}} = 5.25 \text{ nH}$; $L_{\text{провода4}} = 6.32 \text{ nH}$; $L_{\text{провода5}} = 5.9 \text{ nH}$; $L_{\text{провода6}} = 4.9$)

Table 1 - Installation Specifications

supply voltage	380 V, 50 Hz
charging voltage	50 kV
generator output voltage	400 kV
pulse energy	600 j
pulse repetition frequency	5 imp / s
power consumption	10 kW
capacitor capacitance	100 nF

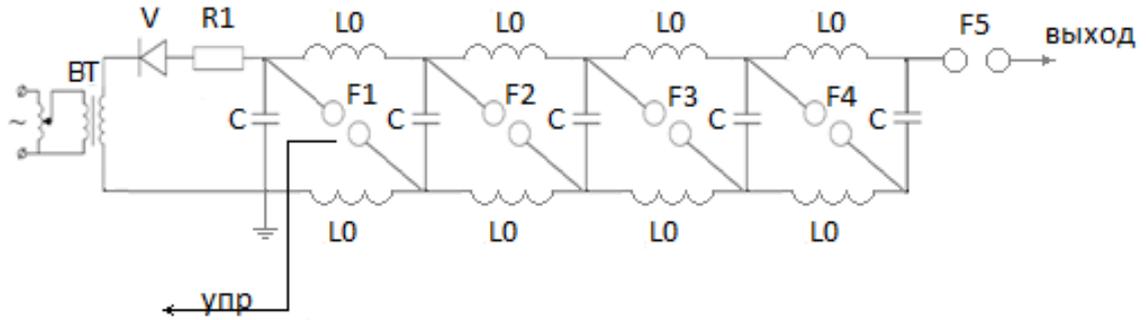


Figure 10 - PVG circuit diagram: *BT* - high voltage transformer, *R1* - protective resistance, *L0* - charging (isolating) inductances, *C* - capacitors, *F1-F8* - ball dischargers

A3.2 Sample preparation

For the experiment, sandstone and two types of granite blocks (white and black) were acquired.

Parameters of one block: (length - 31.5 cm; width - 11 cm; height = 3 cm)

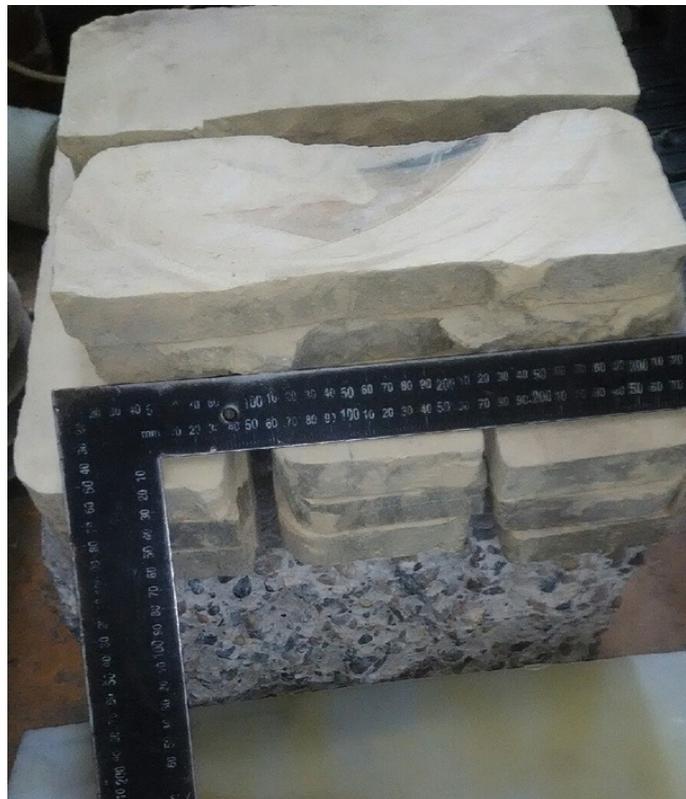


Figure 11 - Sandstone blocks

- White granite (2 blocks)

Parameters of one block: (length - 34 cm; width - 5s m; height = 3 cm)



Figure 12 - Blocks of white granite

- Black granite (8 blocks)

Parameters of one block: (length - 34 cm; width - 5s m; height = 3 cm)

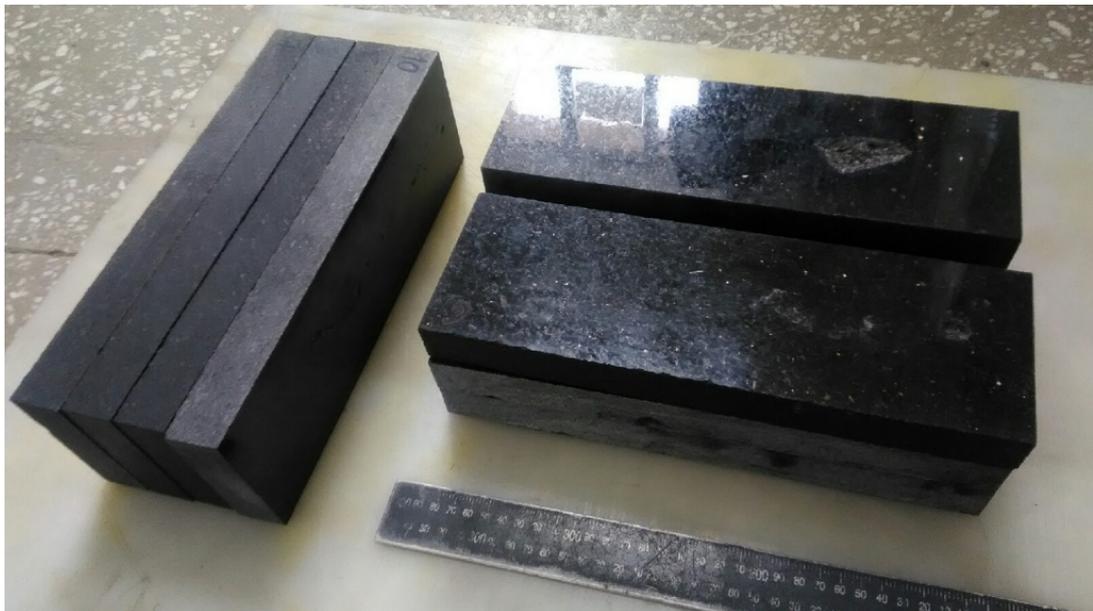


Figure 13 - Blocks of black granite