

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
Разработка изолированной электродной системы для электроимпульсных технологий УДК 621.315.61.032.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4TM72	Протопопов Игорь Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Юдин А.С.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Кащук И.В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Романова С.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Техника и физика высоких напряжений	Жгун Д.В.	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО 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 <i>для решения инженерных задач</i> 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 <i>в сфере 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 <i>для 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
4TM72	Протопопов Игорь Алексеевич

Тема работы:

Разработка изолированной электродной системы для электроимпульсных технологий	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Литературные данные, результаты при проведении НИР и прохождении практик.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Область применения электроимпульсных технологий. 2 Обзор существующих методов и технологий удаления поверхностного слоя железобетонных изделий. 3 Обоснование выбора диэлектрического материала в качестве изоляции электродной системы. 4 Разрушение полимерной изоляции. 5 Проектирование и изготовление электродной системы. 6 Экспериментальная оценка полученных

	электродных систем. 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8 Социальная ответственность.
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:	
1.1 Область применения электроимпульсных технологий	
1.2.8 Электроимпульсным способом	
1.3. Диэлектрические материалы	
2.1 Начальные условия	
2.2 Тройная точка	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Юдин А.С.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Протопопов Игорь Алексеевич		

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:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.03.2019	Литературный обзор	20
01.04.2019	Расчётно-конструкторская часть	30
15.04.2019	Экспериментальная часть	30
30.04.2019	Финансовый менеджмент	10
02.05.2019	Социальная ответственность	5
30.05.2019	Разделы, выполненные на иностранном языке	5
		Сумма: 100 баллов

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения ИШНПТ	Юдин Артём Сергеевич	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Техника и физика высоких напряжений	Жгун Дмитрий Владимирович	К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 125 страниц, 61 рисунков, 23 таблиц, 71 источника и 1 приложения.

Ключевые слова: ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ, ЭЛЕКТРОДНАЯ СИСТЕМА, ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, ПРОБОЙ ДИЭЛЕКТРИКА, ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ.

Объектом исследования является изолированная электродная система, состоящая из 5 межэлектродных промежутков.

Цель работы – разработка изолированной электродной системы, обладающей повышенным активным сопротивлением в технической воде, имеющей 5 межэлектродных промежутков, независимые электроды, расположенные на общем каркасе.

Разработанные изолированные электродные системы помещались в разрядную камеру на поверхность железобетонного образца, для испытания в условиях, приближенных к реальности. Испытания сопровождались отколом поверхностного слоя бетона. Объем полученного боя бетона собирался для оценки удельной производительности и удельных энергозатрат.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики генератора импульсных напряжений по схеме Аркадьева-Маркса менялись в ходе эксперимента.

Область применения: электроимпульсные технологии, экспериментальные стенды.

ABSTRACT

Final qualification work consists of 125 pages, 61 figures, 23 tables, 71 sources and 1 attachment.

Keywords: HIGH VOLTAGE INSULATION, ELECTRODE SYSTEM, ELECTROPULSE TECHNOLOGY, DIELECTRIC BREAKDOWN, PRECAST CONCRETE.

The object of study is an insulated electrode system, which has 5 interelectrode gaps.

The purpose of the work is development of an insulated electrode system.

Designed isolated electrode system was placed in the discharge chamber on the surface of a concrete sample, for testing in conditions close to reality. The tests were accompanied by the removing of the surface layer of concrete. The volume of the resulting sludge collected to assess the destruction productivity and specific energy consumption.

The main design, technological and technical and operational characteristics of the Marx generator varied during the experiment.

Scope: electropulse technologies, experimental stand.

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие термины и сокращения с соответствующими определениями:

электроимпульсная технология: технология использующая искровой разряд непосредственно в твердом диэлектрике.

бой бетона: кусок материала, основой которого является бетон и его наполнитель

ГИН: генератор импульсных напряжений по схеме Аркадьева-Маркса

ДИН: делитель импульсных напряжений

Оглавление

Введение.....	11
1 Область применения электроимпульсных технологий и сопутствующие проблемы.....	12
1.1 Область применения электроимпульсных технологий.....	12
1.2 Удаление поверхностного слоя железобетонных изделий.....	13
1.2.1 Воздействием микроволнового излучения.....	13
1.2.2 Воздействием жидкого азота высокого давления	15
1.2.3 Воздействием лазерного излучения.....	16
1.2.4 Механическим воздействием.....	17
1.2.5 Термическим воздействием	18
1.2.6 Термохимическим воздействием	19
1.2.7 Электрогидравлическим эффектом.....	19
1.2.8 Электроимпульсным способом	20
1.3 Диэлектрические материалы.....	24
1.3.1 Полимеры.....	24
1.3.2 Разрушение полимерной изоляции	26
2 Проектирование и изготовление электродной системы	31
2.1 Начальные условия	31
2.2 Тройная точка.....	32
2.3 Электродные системы	35
2.3.1 Электродная система, вариант первый.....	35
2.3.2 Электродная система, вариант второй.....	36
2.3.3 Электродная система, вариант третий	37
2.4 Расположение электродов	38
2.5 Способ повышения эффективности электродной системы	39

2.6 Изготовленные электродные системы	41
3 Экспериментальная оценка полученных электродных систем	43
3.1 Цель проведения экспериментов.....	43
3.2 Экспериментальный стенд	43
3.3 Методика проведения испытаний	46
3.4 Испытание электродных систем.....	48
3.4.1 Пробой изоляции у электродной системы, вариант первый	51
3.4.2 Разрушение изоляции у второго и третьего варианта электродной системы	52
3.4.3 Пробой изоляции в области крепления	54
3.5 Электродная система окончательный вариант	57
3.5.1 Опыт короткого замыкания электродной системы	61
3.5.2 Испытание на железобетонной шпале Ш1	62
3.5.3 Влияние вида воздействующего импульса напряжения на эксплуатационные характеристики установки	64
3.5.4 Влияние арматуры на производительность снятия поверхностного слоя	65
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
5 Социальная ответственность.....	91
Заключение	101
Список использованных источников	103
Приложение А	112
CD диск	

Введение

В качестве рабочей среды в электроимпульсных технологиях используют диэлектрические и полупроводящие жидкости. При использовании диэлектрических жидкостей требуемые уровни рабочих напряжений и критическая крутизна фронта импульса – минимальны, ввиду уменьшения растекания токов, по сравнению с полупроводящими. Это связано с тем, что электродная система, помещенная в полупроводящую жидкость, обладает низким сопротивлением. Несмотря на это, по экономическим и экологическим соображениям, наиболее предпочтительным является применение полупроводящей жидкости – технической воды [1, 2]

Для уменьшения предпробивных потерь энергии, при использовании технической воды, электроды изолируют от жидкости максимально возможно исходя из технико-экономических соображений [2, 3].

Цель: разработка изолированной электродной системы, обладающей повышенным активным сопротивлением в технической воде, имеющей 5 межэлектродных промежутков, независимые электроды, расположенные на общем каркасе.

Объект исследования: изолированная электродная система.

Научная новизна: впервые разработана изолированная электродная система, имеющая 5 межэлектродных промежутков, для электроимпульсных технологий с применением комбинированной изоляции из силиконовой резины.

Практическая значимость: данные полученные в ходе текущей работы могут быть использованы в дальнейших исследованиях в области электроимпульсных технологий.

1 Область применения электроимпульсных технологий и сопутствующие проблемы

1.1 Область применения электроимпульсных технологий

Электроимпульсные технологии могут применяться для разрушения диэлектрических и полупроводящих материалов с целью:

- бурения скважин [4];
- дробления и измельчения различных объектов [5];
- резанья и поверхностной обработки камня [6];
- разрушения и утилизации железобетонных изделий;
- удаления поверхностного слоя железобетонных изделий [7].

В настоящее время одним из перспективных направлений использования электроимпульсных технологий является атомная промышленность. По состоянию на май 2019 года, количество атомных электростанций срок службы которых превышает 20 лет составляет 356 единиц [8], кроме этого существует множество других ядерных объектов.

При выводе из эксплуатации любых ядерных объектов может применяться удаление поверхностного слоя железобетонных изделий в целях [9]:

- снижения радиоактивности зараженного объекта;
- сокращения объёма материалов, требующих хранения и утилизации на специализированных объектах, возможно достижение статуса обычных отходов, освобожденных от контроля регулирующих органов [10];
- восстановление участка, объекта или его части для повторного использования.

Имеются примеры повторного использования бетона, полученного в ходе вывода из эксплуатации ядерных объектов, для локальных инфраструктурных работ [11].

1.2 Удаление поверхностного слоя железобетонных изделий

В целях сравнения и оценки перспективности использования электроимпульсного удаления поверхностного слоя железобетонных изделий необходимо рассмотреть существующие и другие разрабатываемые технологии для данной цели.

Описание и сравнение различных способов снятия поверхности бетона проводилось различными структурами, в том числе:

- Американским обществом инженеров-механиков [12];
- Министерством энергетики США [13];
- Агентством по охране окружающей среды США [14];
- Европейской комиссией [15];
- Международным агентством по атомной энергетике [16];
- Агентством по ядерной энергии [17].

Равным образом аналогичные данные представлены в книгах [10, 18] и информационной системе D&D КМ-IT [19].

Далее приведен краткий обзор существующих методов и технологий.

1.2.1 Воздействием микроволнового излучения

Микроволновое излучение воздействует на воду, присутствующую в бетонной матрице, вызывая её нагрев и переход в другое фазовое состояние. В результате образующийся пар под давлением создает внутренние механические и термические напряжения, приводящие к разрушению слоя бетона [20].

На рисунке 1 представлено изображение трёх образцов бетона (разного состава), каждый из которых подвергался микроволновому излучению частотой 2,45 ГГц, мощностью 15 кВт – общее время воздействия на один образец 9 минут (9 позиций по 1 минуте). Расстояние между поверхностью бетона и источником излучения составило 50 мм, снятый слой бетона 25 мм [20].

Недостатками данной технологии, являются:

- относительно высокое энергопотребление на единицу площади: оценочно 40,5 МДж/м²;

- корреляция эффективности от содержания воды в бетоне. К примеру, испытания на экспериментальном реакторе LIDO не дали положительных результатов, предположительно, в следствие того, что содержание воды в бетоне было низким для производства достаточного количества пара. В меньшей степени, на продуктивность влияют армирование бетона и частота излучения [21].

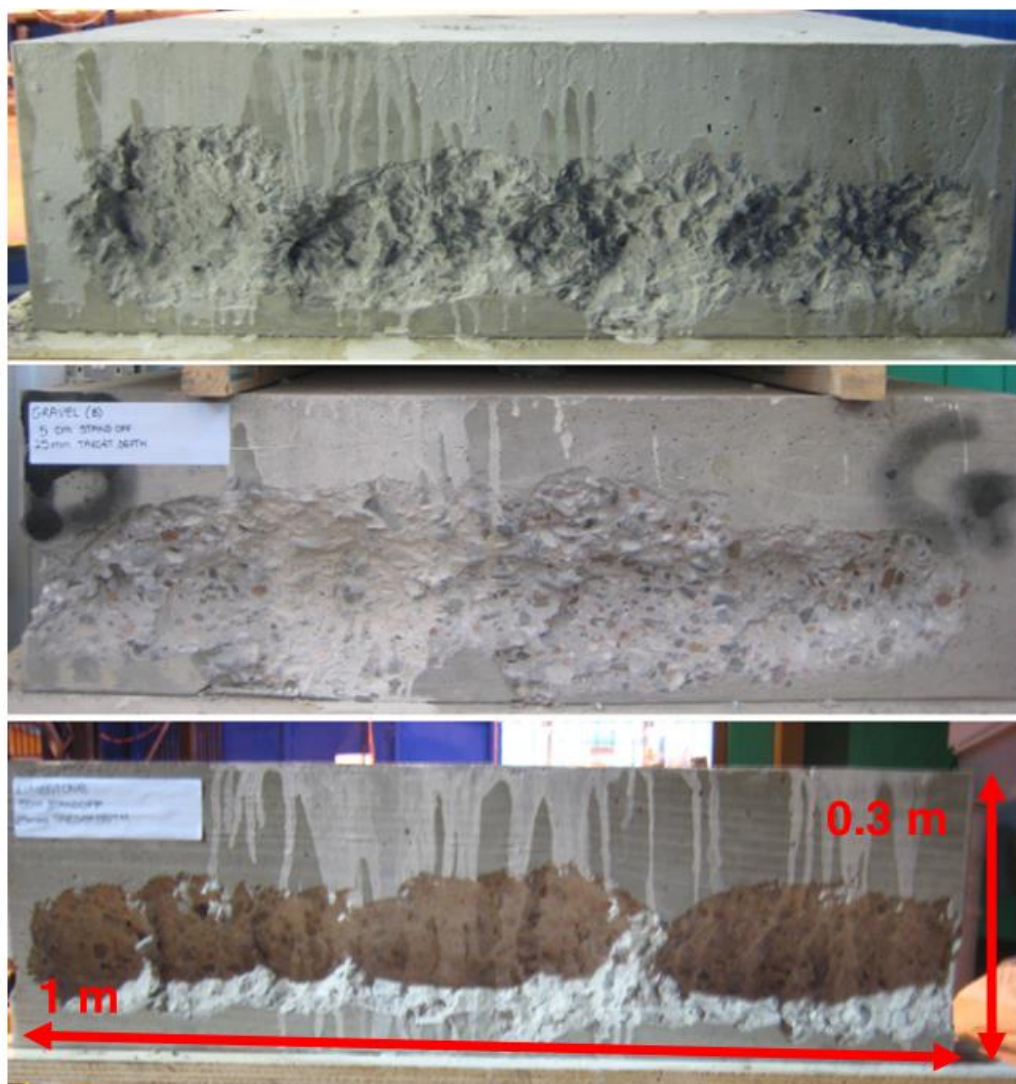


Рисунок 1 – Поверхности образцов бетона с разными основами (верх – базальтовый щебень, середина – гравий, нижний – известняковый щебень) после воздействия микроволнового излучения мощностью 15 кВт [20]

1.2.2 Воздействием жидкого азота высокого давления

Данная технология запатентована компанией INI Corporation. Суть метода заключается в следующем: струя жидкого азота под высоким давлением (сотни МПа) подводится к поверхности, что приводит к её удалению (рисунок 2) за счёт 3 разных эффектов [22]:

- 1 механического эффекта посредством кинетической энергии;
- 2 температурного шока.
- 3 взрывного эффекта вследствие резкого расширения азота (в 700 раз).



Рисунок 2 – Снятый слой окрашенного бетона, жидким азотом под высоким давлением [22]

К отличительным особенностям можно отнести:

- отсутствие образования вторичных отходов;
- обработка практически любой поверхности и относительную гибкость системы.

Недостатками могут являться:

- массогабаритные параметры: масса установки составляет 3,4 тонны, при следующих размерах: 3 м (длина) × 1.8 м (ширина) × 1.2 м (высота) [23];
- высокая мощность потребляемой электроэнергии: 150 кВт · А при скорости снятия поверхностного слоя 2,5 м²/ч (глубиной 14 мм) [23];

– необходимость в вакуумной системе (для предотвращения повторного загрязнения) и системе вентиляции – в результате резкого увеличения объёма, образуется много газообразного азота.

1.2.3 Воздействием лазерного излучения

Воздействие лазерного излучения на поверхность хрупкого материала, мощностью в несколько киловатт, вызывает взрывной выброс верхнего слоя толщиной в сантиметр. Причины данного явления до сих пор точно не известны, но связаны с силами теплового расширения, и возможно, с образованием пара под давлением внутри бетонной матрицы [24].

В [25] указано, что использование Nd:YAG-лазера мощностью 4 кВт позволяет достичь снятия 5 мм слоя с поверхности известнякового бетона площадью в 1 м² за 80 минут, что равно 63 см³/мин. А эффект взрывного выброса материала наблюдался только на бетоне с известняковым наполнителем. В случае с бетоном с базальтовым наполнителем при относительно длительном воздействии лазера происходит остекловывание поверхности (рисунок 3) также данный эффект наблюдается у бетона с наполнителем из кварцита и щебня.

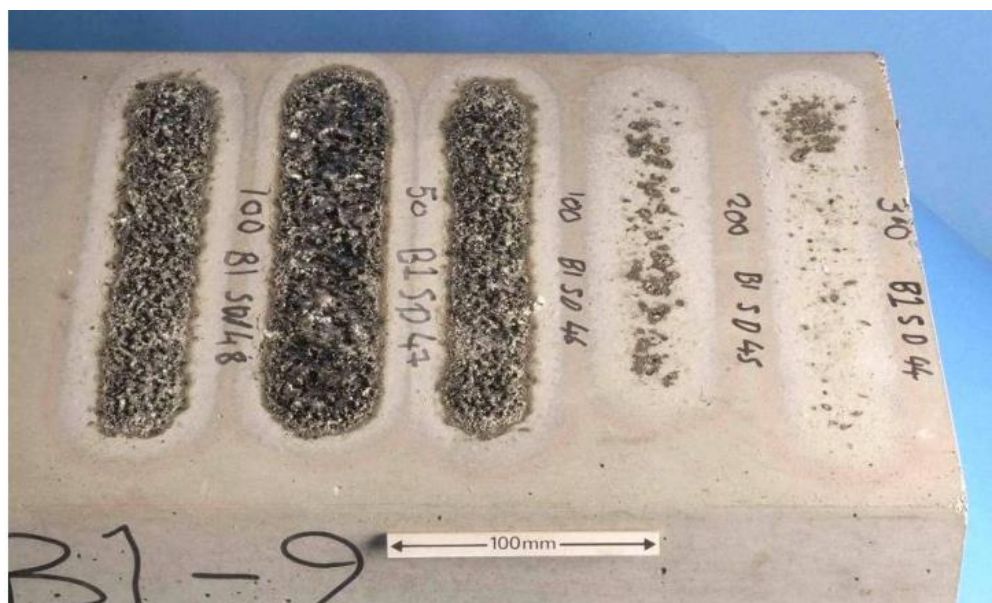


Рисунок 3 – Обработанный слой бетона с базальтовым наполнителем [25]

Стоит отметить, что помимо низкой производительности, недостатком является стоимость оборудования, превышающая 300000 фунтов стерлингов [26].

1.2.4 Механическим воздействием

Данный способ является распространенным, вследствие простоты использования, широкой изученности и распространённости. К нему можно отнести использование шлифовальных, фрезеровальных и других машин (рисунок 4, 5), которые за счёт механического воздействия удаляют слой бетона.

К недостаткам можно отнести (в зависимости от типа используемых машин, параметры недостатков могут варьироваться): образование пыли (необходимость в вакуумных системах) и вторичных отходов, высокую вибрацию, высокую стоимость расходных материалов, большие массогабариты, вероятность повторного заражения. Скорость снятия поверхностного слоя может достигать $11,9 \text{ м}^2/\text{ч}$ [14].



Рисунок 4 – Снятие поверхностного слоя с помощью резцов [17]



Рисунок 5 – Внешний вид резцов, применяемых для снятия поверхностного слоя железобетона [17]

1.2.5 Термическим воздействием

Тепловая энергия, поступающая в результате воздействия пламени (или плазмы) на поверхность, вызывает удаление слоя бетона толщиной до трёх миллиметров – зависит от наполнителя бетона. После чего свободные частицы и остатки горения могут быть удалены с обработанной поверхности любыми подходящими способами. Как правило, подвод тепла производится с помощью горелки, температура пламени которой достигает 3200 градусов по Цельсию [15].

На рисунке 6 представлен эскизный проект установки, использующей данный эффект, для дезактивации горизонтальных поверхностей.

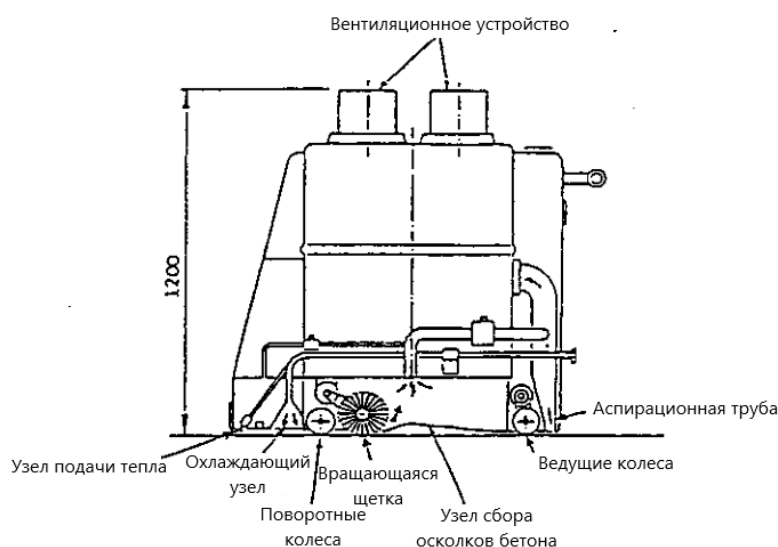


Рисунок 6 – Эскизный проект установки, использующей термическое воздействие для удаления слоя бетона [15]

1.2.6 Термохимическим способом

Нанесенный слой порошкообразной экзотермической смеси на поверхность бетона вызывает термическое улетучивание радионуклидов с одновременным улавливанием их образующимся шлаком, который позднее исключается с поверхности (рисунок 7). Глубина снимаемой поверхности составляет 4-7 мм [27].

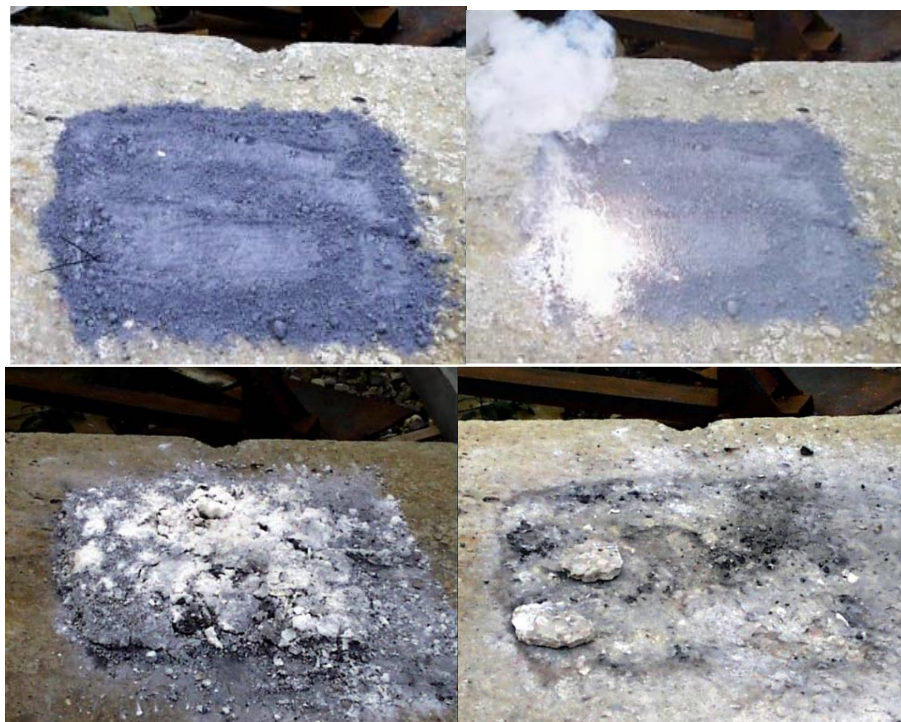


Рисунок 7 – Термохимическая дезактивация бетона [28]

1.2.7 Электрогидравлическим эффектом

В 90-х годах проводились исследования [3, 29, 30] по использованию электрогидравлического эффекта Юткина для дезактивации поверхностей за счёт гидроудара, который создается высоковольтным электрическим разрядом между двумя электродами в воде (рисунок 8). Прогнозируемая производительность, при снятии слоя толщиной 9,525 мм, составляет 2,8 м²/ч при следующих рабочих параметрах:

– рабочее напряжение 28-32 кВ;

- потребляемая мощность 30 кВт;
- частота следуемых импульсов 4-7 Гц;
- энергия импульса 3-5 кДж.

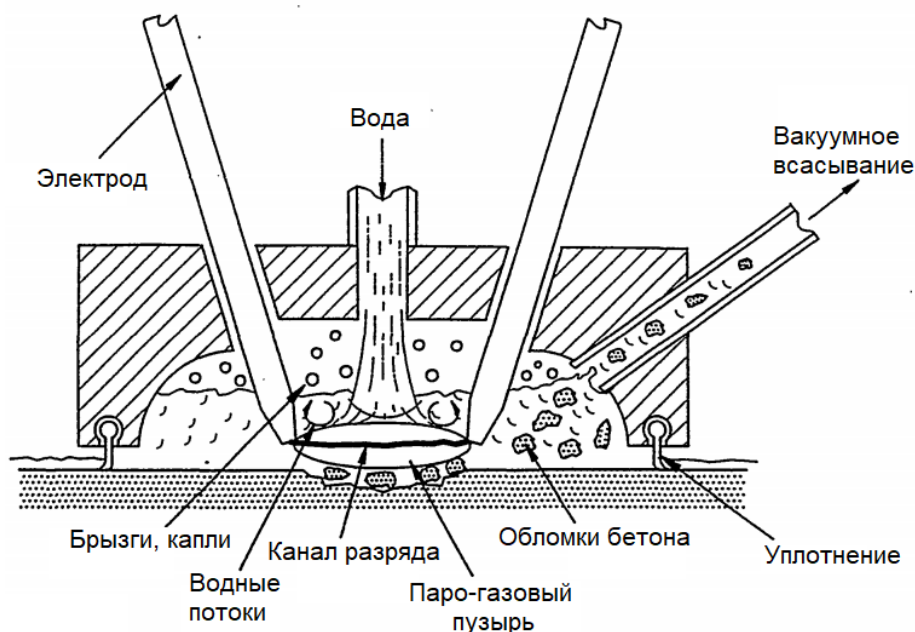


Рисунок 8 – Схематическое изображение применения эффекта Юткина для удаления поверхностного слоя бетона [29]

К недостаткам можно отнести относительно высокие энергетические затраты (по сравнению с электроимпульсным способом) [3].

1.2.8 Электроимпульсным способом

Данный принцип основывается на том факте, что у бетонов прочность на растягивающие усилие существенно ниже, чем на другие: сжатие, изгиб, истирание. Растягивающее усилие создается за счёт внедрения и развития канала разряда в бетоне.

Возможность внедрения канала разряда в бетон исходит из явления, при котором электрическая прочность жидкости (как диэлектрической, так и полупроводящей) становится выше прочности твердых диэлектриков при приложении импульсов напряжения с длительностью фронта менее 10^{-6} с.

Механизм данного явления до сих пор не известен, тем не менее существует несколько гипотез выдвинутых разными группами учеными [31, 32, 33].

На рисунке 9 проиллюстрированы вольт-секундные характеристики твердого тела и жидкости совместно с примерным видом осциллограммы пробоя.

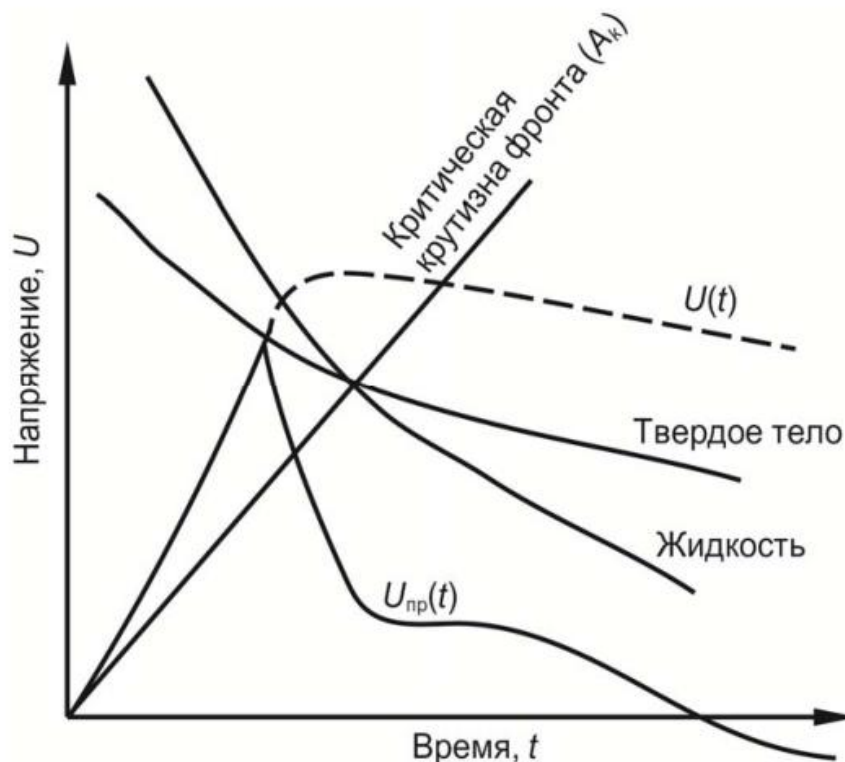


Рисунок 9 – Стилизованные вольт-секундные характеристики твердого тела и жидкости [34]

Исходя из вышеизложенного, суть технологии заключается в следующем: электроды помещаются в рабочую среду (жидкость) на поверхность бетона с определенным порядком и положением относительно друг друга, вследствие воздействия импульсного напряжения, обладающего достаточной критической крутизной фронта, на электроды происходит внедрение канала разряда в бетон, вызывающее его откол. Главным условием является создание необходимой разницы потенциалов между ближайшими электродами.

Для генерирования высоковольтных импульсов, как правило, используют генераторы по схеме Аркадьева-Маркса (ГИН) ввиду простоты их

реализации. Однако, в силу того, что при использовании данного типа генератора ограничена возможность вариации режима энерговклада и в какой-то мере из-за массогабаритных параметров, ведутся поиски других технических решений. Например, была предложена параллельная работа на одну нагрузку генератора импульсных напряжений, предназначенного для инициирования разряда и формирования канала сквозной проводимости, и генератора импульсных токов, обеспечивающего энерговклад в сформированный канал пробоя [35]. Другим вариантом является применение импульсных трансформаторов. Помимо вышеописанного у электроимпульсных технологий есть ряд других недостатков, к которым можно отнести недостаточную долговечность электроизоляционных материалов и малый ресурс коммутаторов.

Разработка прототипов устройств, использующих данный принцип для дезактивации поверхностей, производилась неоднократно.

Группой учёных [36] был создан генератор (EG-350) на основе импульсного трансформатора. Максимальная производительность на испытательном стенде (рисунок 10) составила $6,6 \text{ м}^2/\text{ч}$, при частоте следования импульсов 8 Гц и скорости передвижения генератора равной 0,12 м/мин. Но, в результате того, что авторами не был представлен объём образовавшегося боя бетона, а глубина образовавшейся поверхности сильно варьировалась – сложно судить об удельных энергозатратах. В [37] указано, что генератор EG-350 работает лучше, чем обычный ручной отбойник, производит меньшее количество углекислого газа. Параметры генератора представлены ниже:

- выходное напряжение составляет около 350 кВ;
- энергия, запасаемая генератором, приблизительно равна 600 Дж;
- энергия, выделенная в разрядном промежутке, составила чуть больше 300 Дж;
- длительность импульса порядка 300 нс при частоте следования импульсов 10 Гц.



Рисунок 10 – Испытательный стенд с генератором EG-350 [36]

Другой группой ученых также производились подобные исследования с использованием ГИН, разработанным и протестированным в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого. В одном из испытаний, достигнуты следующие средние показатели эффективности: $3,72 \text{ м}^2/\text{ч}$ при глубине $8,4 \text{ мм}$; при рабочем напряжении $110\text{-}120 \text{ кВ}$, энергии импульса $0,7\text{-}1 \text{ кДж}$ и межэлектродном расстоянии равном $1,5\text{-}2,2 \text{ см}$ [3].

Необходимо отметить, что образовавшаяся смесь воды и боя бетона может вызвать повторное загрязнение. Данная сложность решается применением системы рециркуляции воды. Установлено, что контакт поверхности бетона с водорастворимыми и нерастворимыми загрязнениями может осуществляться от нескольких минут до нескольких часов без повторного загрязнения поверхности [29].

1.3 Диэлектрические материалы

1.3.1 Полимеры

Перед началом разработки изолированной электродной системы, необходимо произвести выбор диэлектрического материала, который будет использоваться в качестве изоляции электродной системы.

В качестве электроизоляционного материала широко применяются полимеры. Полимерами являются вещества, состоящие из многократно повторяющихся звеньев. В свою очередь звенья являются низкомолекулярными веществами – мономерами; при определенных условиях способные к последовательному соединению друг с другом [38].

Логично предположить, что выбор полимера следует основывать исходя из его электрической прочности – выбирать с наибольшим значением. Но, несмотря на широкий ассортимент полимеров, данный параметр не сильно варьируется. Помимо этого, следует принимать во внимание, что электрическая прочность, указанная в справочных материалах проведена по определенному стандарту, регламентирующему толщину образца. Здесь и заключена основная проблема в виде масштабного эффекта (или «эффекта объема изоляции» [1]): более высокой электрической прочностью обладают тонкие пленки из-за меньшего количества различных дефектов [39, 40].

В дополнение к этому, использование сведений по ресурсу изоляции изготовленной из определенного материала и полученных в условиях, отличных от планируемых, является нецелесообразным по ряду причин. Основной причиной является зависимость ресурса электрической изоляции от множества факторов [40], таких как:

- состав, структура и размеры индивидуального образца;
- наличие макродефектов;
- внешние условия испытаний (окружающая среда, температура, давление, наличие различных излучений);

- параметры воздействующего напряжения (амплитуда, длительность, форма, полярность, частота);
- геометрия изоляционного промежутка;
- механического напряжения, воздействующего на изоляцию;

Установлено, что первостепенной причиной старения изоляции является электрическое поле высокой напряженности и то, что диэлектрику, применяемому в качестве изоляции для электроимпульсных технологий, предпочтительно иметь смачивающуюся поверхность [1, 41]. Повышение соответствия материала заданным условиям может достигаться путем: плазменной модификации (изменение смачиваемости поверхности) [42, 43], добавление материалов (регулирование напряженности электрического поля) [44, 45]. Несмотря на то, что применение модифицированных полимерных материалов хоть и представляется перспективным, в связи с значительным количеством возможных комбинаций и трудоемким процессом натурных испытаний – мало целесообразно по экономическим соображениям.

В ходе анализа различных источников был получен следующий опыт выбора изоляционного материала для электроимпульсной технологии:

- в [1] из следующих изоляционных материалов: фторопласт-4, полиметилметакрилат, текстолит, полистирол, эпоксидный компаунд, керамика на основе циркона, полиэтилен высокого и низкого давления – на основании многолетних исследований, для изготовления изоляции электроимпульсного бурового снаряда был выбран полиэтилен высокого давления;
- комбинирование сетки из стекловолокна с кремнийорганической резиной, использовалась в качестве изоляции электродов в прототипе установки по снятию поверхностного слоя [3].

На основе вышеизложенного, а также анализа электрической прочности материалов и других характеристик, которые необходимо учитывать: возможность длительного нахождения в воде, механическая прочность. По технико-экономическим соображениям в качестве изоляции электродной

системы был выбрана силиконовая резина, представленная в виде силиконовых трубок различных диаметров (рисунок 11).



Рисунок 11 – Силиконовые трубки [46]

Использование силиконовой резины является обоснованным по ряду причин:

- при сгорании образуется непроводящий слой диоксида кремния [47];
- имеет относительно стандартную диэлектрическую прочность для полимера, равную 20 кВ/мм [48];
- изоляция электродной системы путем наложения нескольких слоев силиконовых трубок, вероятнее всего, приведет к увеличению электрической прочности по сравнению с использованием монолитной изоляции большей толщины;
- данный полимер широко представлен в розничной торговле;
- простота соединения с электродом.

1.3.2 Разрушение полимерной изоляции

Помимо изолирования электродных систем, производят изоляцию основных конструктивных узлов электроимпульсной установки в независимости от области её применения, которая также подвержена разрушению.

В большинстве случаев различают только три основные формы пробоя твердых диэлектриков: электрический (электронный), тепловой и электрохимический. При этом существует множество различных теорий и гипотез, объясняющих их механизм [49]. Есть и другие теории пробоя твердых диэлектриков, например, теория электромеханического пробоя [49, 50]: вследствие сжимающего усилия, возникающего между двумя электродами из-за взаимного кулоновского притяжения, происходит существенная деформация образца при напряженности поля ниже пробойного, вызывающая снижение электрической прочности.

Полному пробоя полимерных образцов может предшествовать развитие дендритов. Различают электрические и водные дендриты [51].

Электрические дендриты появляются в местах повышенной напряженности электрического поля, которые возникают в результате наличия у полимера газовых или других включений. В зависимости от различных условий их форма может меняться [50, 51], иногда рост дендритов начинается после определенного индукционного периода, зависящего от размера и формы пор. Стенки канала имеют проводимость, определенную составом полимера, длительностью развития и энергетическими параметрами дендрита [40]. Дендриты прорастают до момента, при котором происходит замыкание противоположных электродов, после которого происходит пробой изоляции. Замедление роста дендритов достигается уменьшением числа пустот внутри изделия различными способами [50], либо добавлением специальных добавок. На рисунке 12 представлено развитие электрического дендрита с течением времени.

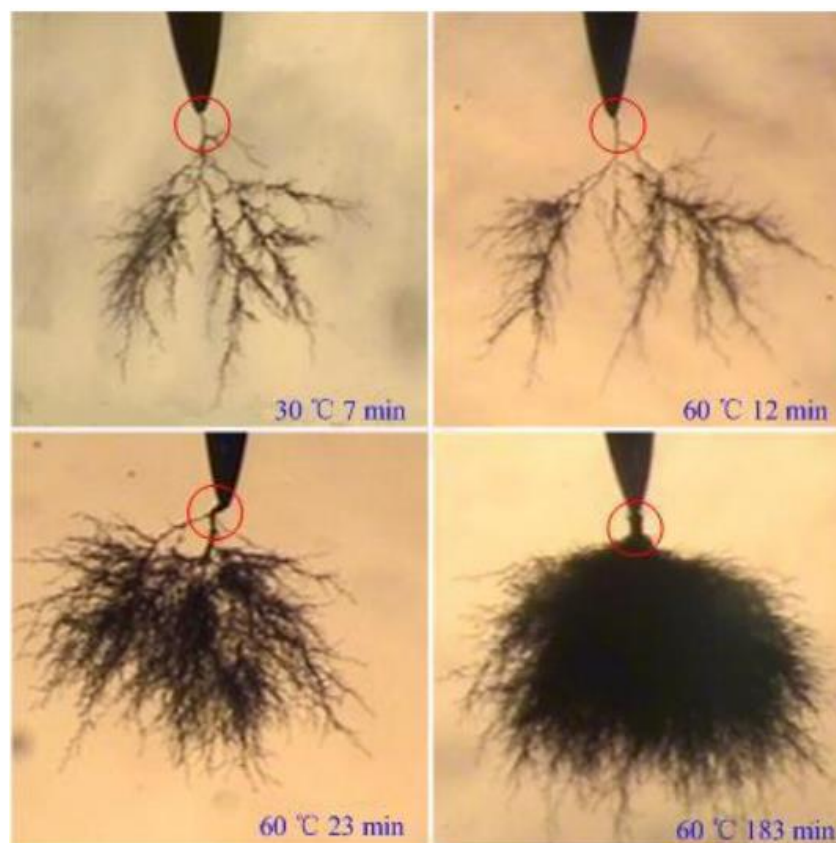


Рисунок 12 – Развитие электрического дендрита в силиконовой резине [52]

Если полимерный диэлектрик находится в контакте с водой, электрическое поле, воздействующее на него, вызывает зарождение водных дендритов (рисунок 13) в области повышенной напряженности электрического поля. Скорость роста водных дендритов меньше чем у электрических и происходит при меньшей напряженности электрического поля [51]. Скорость развития водных дендритов коррелирует с напряженностью электрического поля, вида полимера, составом воды (наименьшая скорость роста происходит при использовании дистиллированной) и приложенной механической нагрузки [50, 51]. В канале водного дендрита отсутствуют частичные разряды, а при перекрытии всего расстояния между электродами может не происходить электрического пробоя [40, 50]. Механизм данного явления во многих аспектах до конца не изучен.

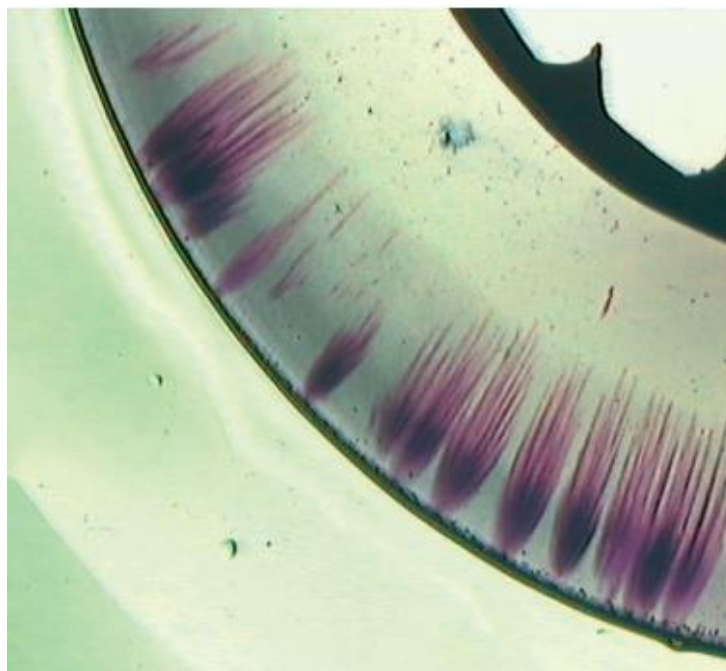


Рисунок 13 – Водные дендриты в кабельной изоляции [53]

При поверхностном пробое полимерной изоляции, вызванном высыханием проводящей дорожки (образованной влагой или грязью), на поверхности изоляции между электродами, может происходить образование проводящих следов (трекинг) (рисунок 14) [54, 55].

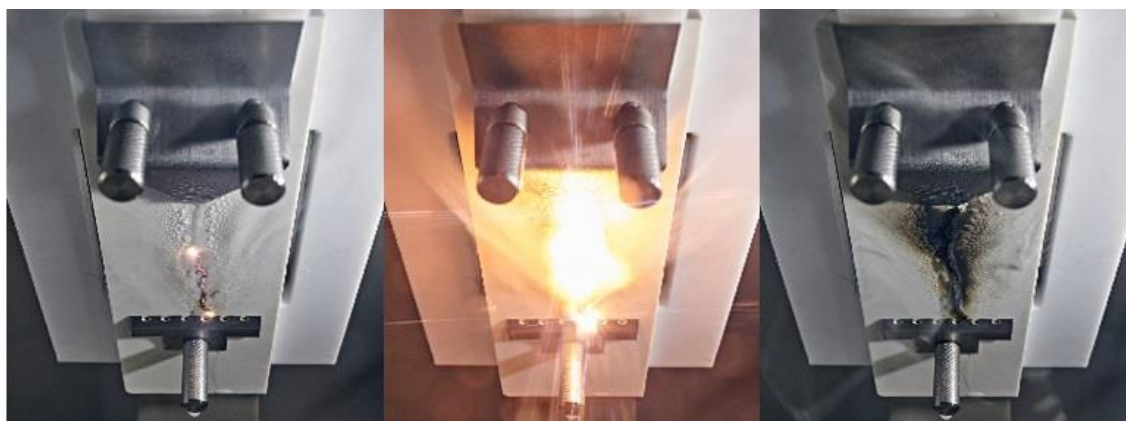


Рисунок 14 – Испытание изоляции на трекингостойкость [56]

Помимо деградации под воздействием электрического поля, полимеры подвержены физическому и химическому старению, которые увеличивают вероятность разрушения диэлектрика.

Химическое старение обычно происходит из-за образования свободных радикалов после стадии инициирования, которая может быть вызвана

воздействием окислителя, тепла, ультрафиолетового или ионизирующего излучения, либо механическим воздействием. Из-за высокой химической активности свободные радикалы приводят к изменению состава полимера, что может негативно сказаться на их свойствах.

К физическому старению относится увеличение локальной плотности в результате вторичной кристаллизации, которое компенсируется образованием микрополостей и разрывов [57].

Вывод по разделу: снятие поверхностного слоя железобетонных изделий электроимпульсным способом является перспективным, при всех рассмотренных недостатках, и по производительности может конкурировать с существующими способами, после разработки обоснованных технических решений.

Рекомендация по использованию какого-либо материала в качестве изоляции электродной системы может быть дана с некоторым приближением. Но отсутствие данных о работе изоляции в аналогичных условиях и наличие большого количества различных вариаций полимеров, снижает значимость такой рекомендации

2 Проектирование и изготовление электродной системы

2.1 Начальные условия

При разработке электродной системы необходимы начальные условия, ввиду множества вариантов её исполнения.

Известно, что увеличение межэлектродного расстояния приводит к росту производительности разрушения [1]. Разумеется, при этом возникает необходимость увеличения амплитуды напряжения и энерговклада, что негативно сказывается на массогабаритных параметрах установки. В свою очередь величина напряжения пробоя зависит от крутизны фронта импульса и не является прямой пропорциональной зависимостью от расстояния между электродами, к примеру, при увеличении межэлектродного расстояния с 20 до 100 мм – пробивное напряжение гранита увеличивается в 3,4 раза [1]. Поэтому геометрические параметры электродной системы будут определяться удаленностью от генератора импульсных напряжений и его параметрами.

Исходя из параметров используемого ГИН были выбраны следующие начальные условия:

- разность потенциалов между соседними электродами составляет не более 370 кВ;
- максимально допустимое расстояние между электродами 50 мм;
- ширина области контакта с поверхностью не более 300 мм;
- электроды будут изготавливаться из прутка нержавеющей стали диаметром 6 мм;
- изоляция выполнена из силиконовой резины;
- в качестве фиксации/крепления используется изделие из полиэтилена.

2.2 Тройная точка

Следует учитывать, что вблизи области соприкосновения изоляции, металла и воды (тройной точке) присутствует локальное увеличение напряженности электрического поля [34]. Для нивелирования данного негативного эффекта применяют экраны, например, как показано на рисунке 15 и 16. В первом случае на торце изолятора создают конусную заточку, во втором изменением геометрии неизолированной части электрода.

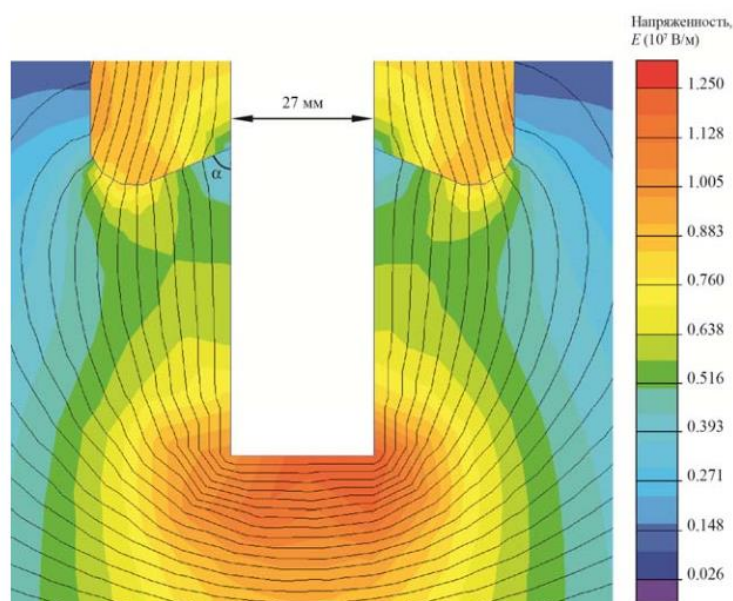


Рисунок 15 – Картина электрического поля в окрестности электрода с конусной заточкой [34]

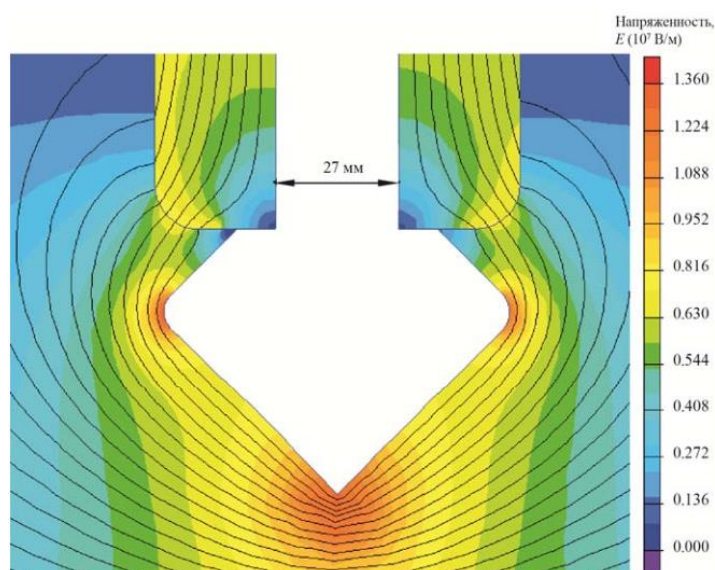


Рисунок 16 – Картина электрического поля электрода с конусообразным наконечником [34]

Снятие части изоляции в силиконовой резине, подобно выше представленному – затруднительно, а использование конусообразного наконечника увеличивает площадь поверхности неизолированной части электрода, что приводит к дополнительным потерям на предпробивной стадии.

Компромиссом может являться использование экранов специального вида, имеющих минимально возможную площадь, но при этом выполняющих основную функцию экранирования тройной точки. Одним из таких решений является использование стального кольца (рисунок 17), расположенного вблизи тройной точки.

Для проверки эффективности эксплуатации стальных колец произведен расчёт напряженности электрического поля в ПО COMSOL Multiphysics. На рисунке 18 и 19 проиллюстрировано как меняется напряженность электрического поля вблизи тройной точки при наличии и отсутствии стального кольца.

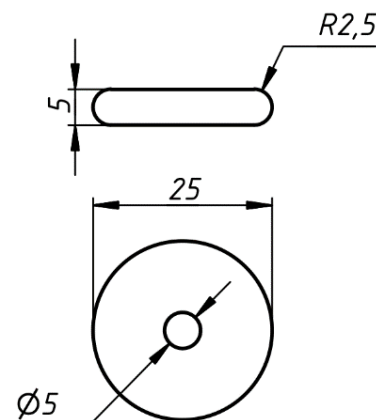
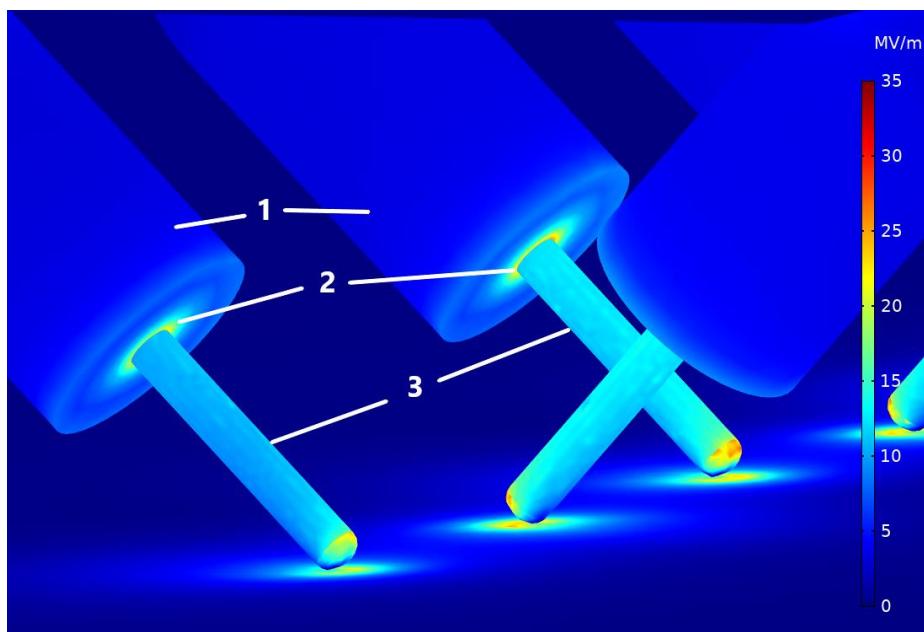
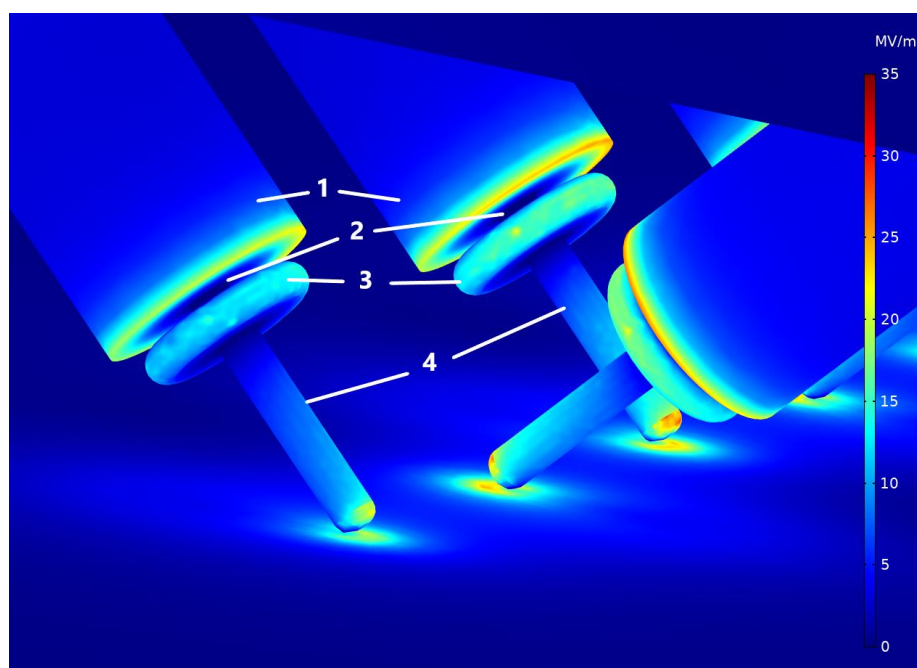


Рисунок 17 – Геометрические размеры экрана специального вида (стальное кольцо)



1 – изоляция электродной системы, 2 – тройная точка, 3 – рабочая часть электродной системы

Рисунок 18 – Напряженность электрического поля в тройной точке (COMSOL Multiphysics)



1 – изоляция электродной системы, 2 – тройная точка, 3 – экран, 4 – рабочая часть электродной системы

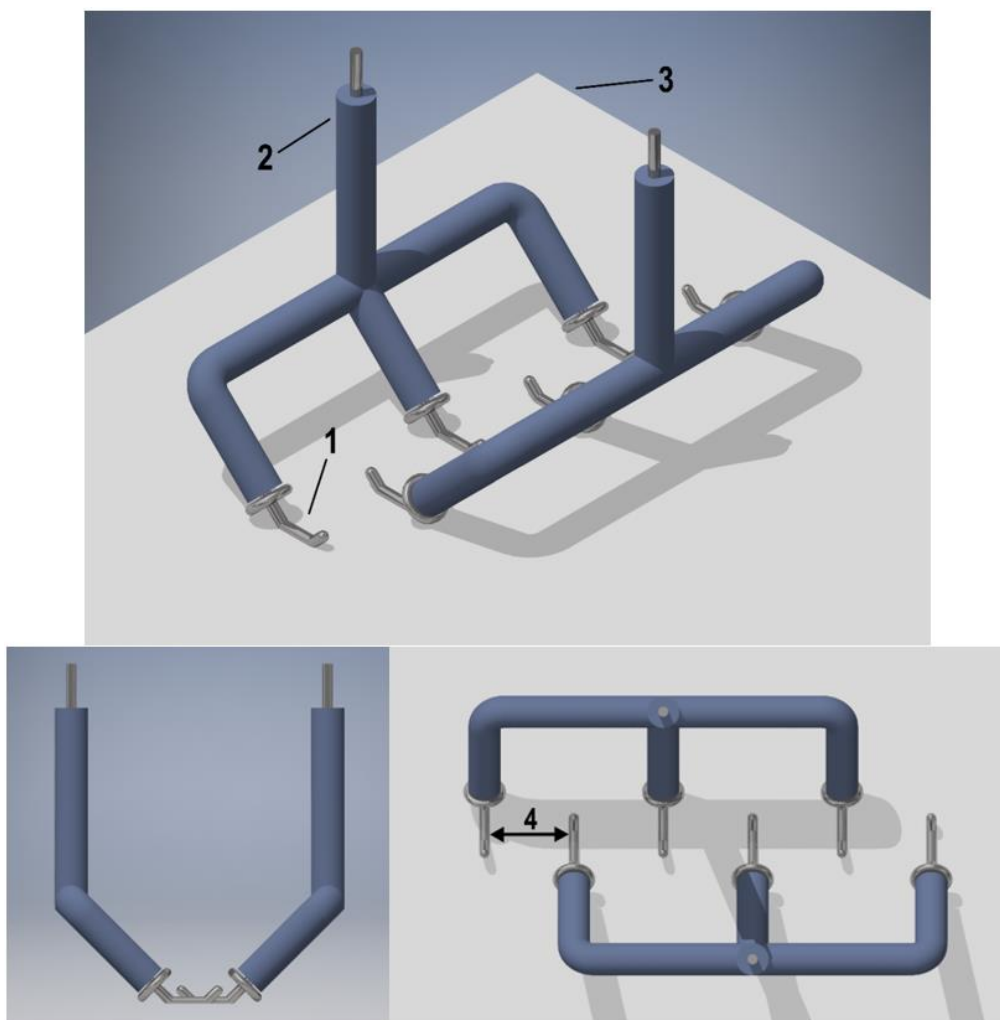
Рисунок 19 – Напряженность поля в тройной точке после размещения экрана (COMSOL Multiphysics)

2.3 Электродные системы

2.3.1 Электродная система, вариант первый

Основной смысл данной геометрической формы (рисунок 20) – это создание скользящей, по поверхности бетона, электродной системы. Общая концепция геометрии заимствована с [36], но с иными характеристиками:

- межэлектродное расстояние: 46,5 мм;
- толщина изоляции не более: 7,5 мм;
- сопротивление: 82 Ом (измеритель иммитанса E7-20 при частоте 1 кГц при проводимости воды около 500 мкСм/см).



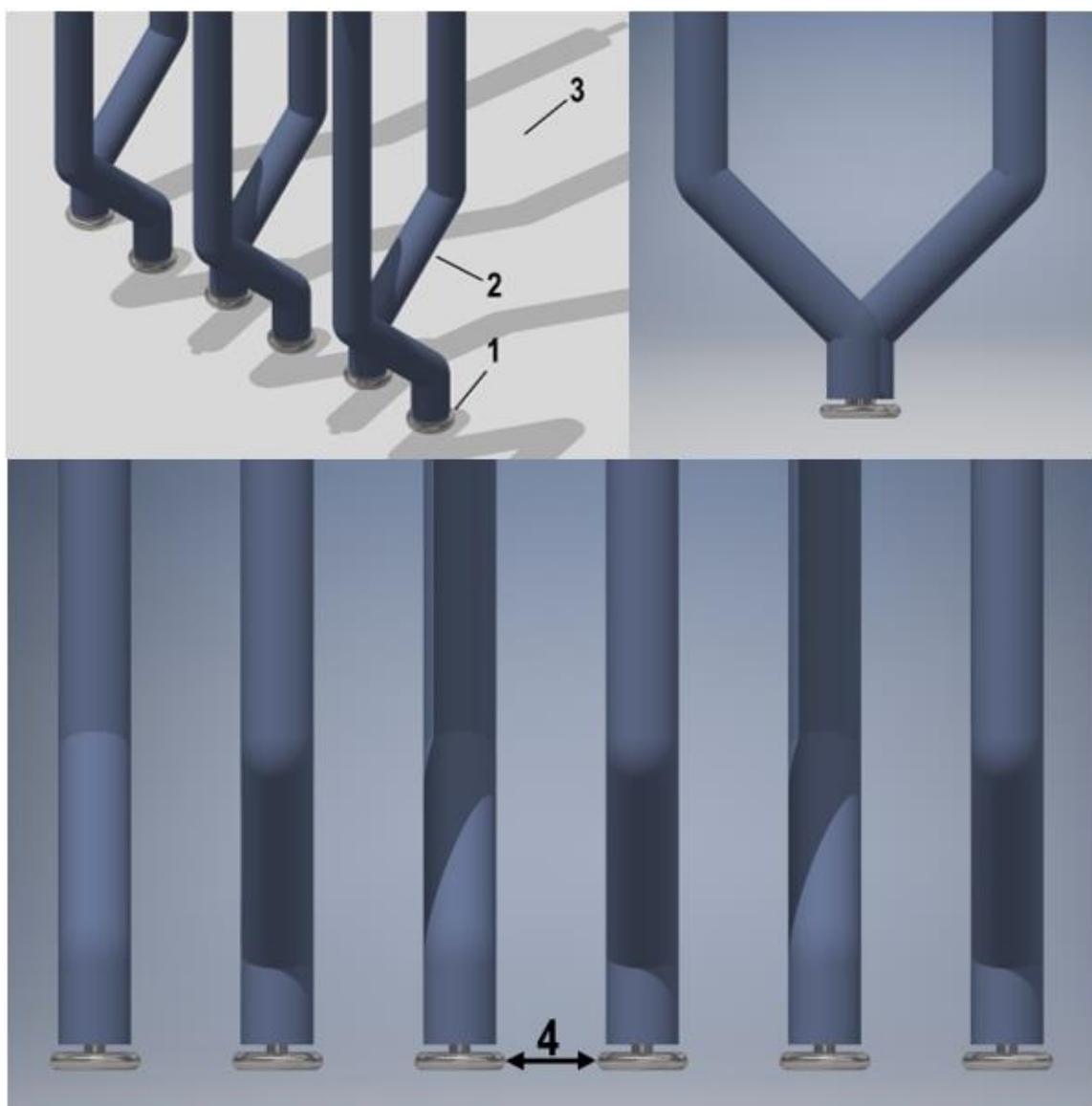
1 – рабочая часть электродной системы, 2 – изоляция, 3 – нулевая плоскость (имитирует поверхность бетона), 4 – межэлектродное расстояние

Рисунок 20 – Эскиз электродной системы вариант первый, без креплений
(перспектива, вид сбоку, вид сверху)

2.3.2 Электродная система, вариант второй

Текущая геометрия (рисунок 21) разработана с целью увеличения сопротивления электродной системы. Имеет следующие параметры:

- межэлектродное расстояние: 25 мм;
- толщина изоляции не более: 7,5 мм;
- сопротивление: 130 Ом (измеритель иммитанса Е7-20 при частоте 1 кГц при проводимости воды около 500 мкСм/см).



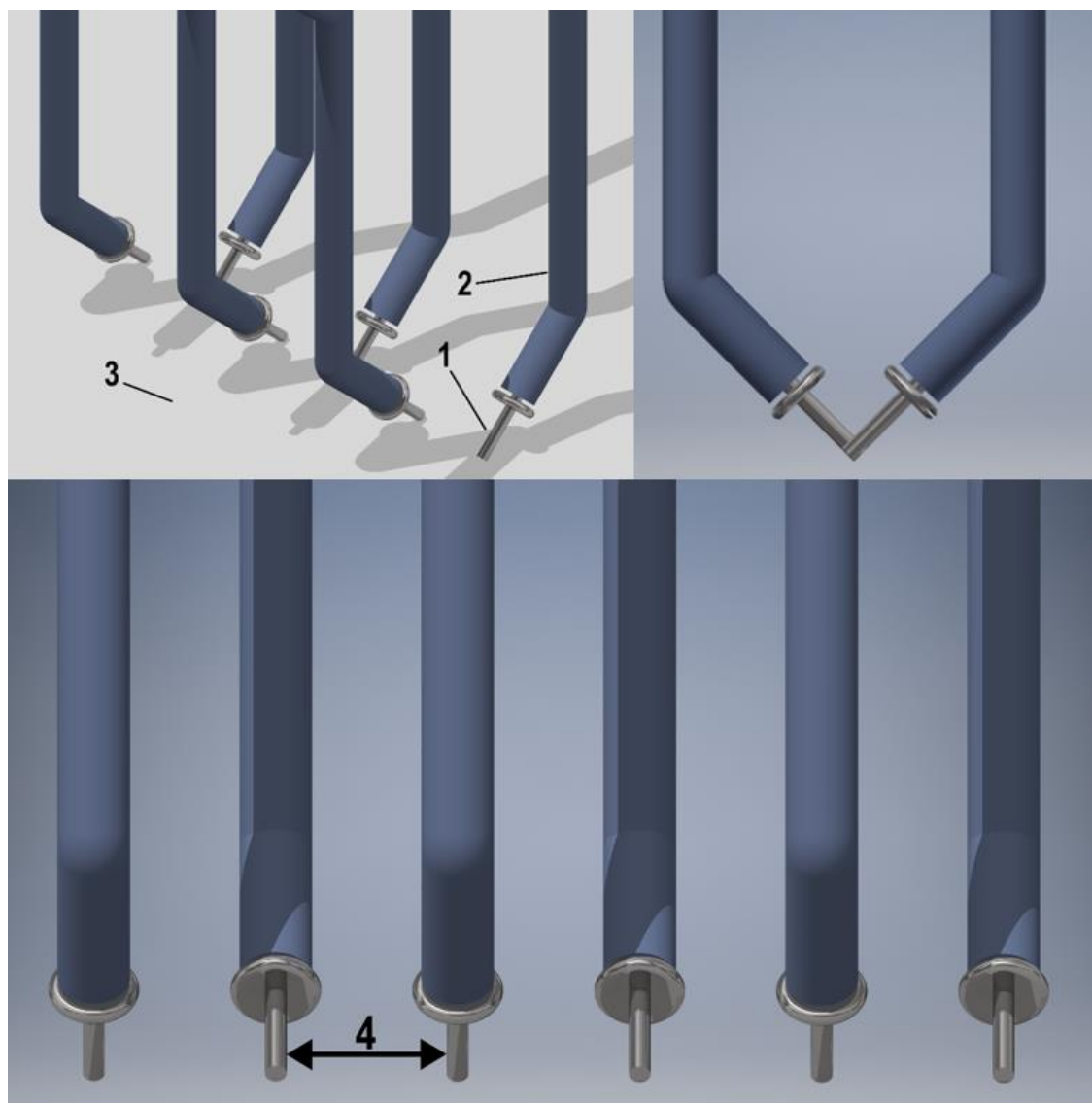
1 – рабочая часть электродной системы, 2 – изоляция, 3 – нулевая плоскость (имитирует поверхность бетона), 4 – межэлектродное расстояние

Рисунок 21 – Эскиз электродной системы вариант два, без креплений
(перспектива, вид сбоку, вид сверху)

2.3.3 Электродная система, вариант третий

В целях условного компромисса между первым и вторым вариантом, вариант три имеет следующий вид (рисунок 22) и параметры:

- межэлектродное расстояние: 45 мм;
- толщина изоляции не более: 7,5 мм;
- сопротивление: 92 Ом (измеритель иммитанса Е7-20 при частоте 1 кГц при проводимости воды около 500 мкСм/см).

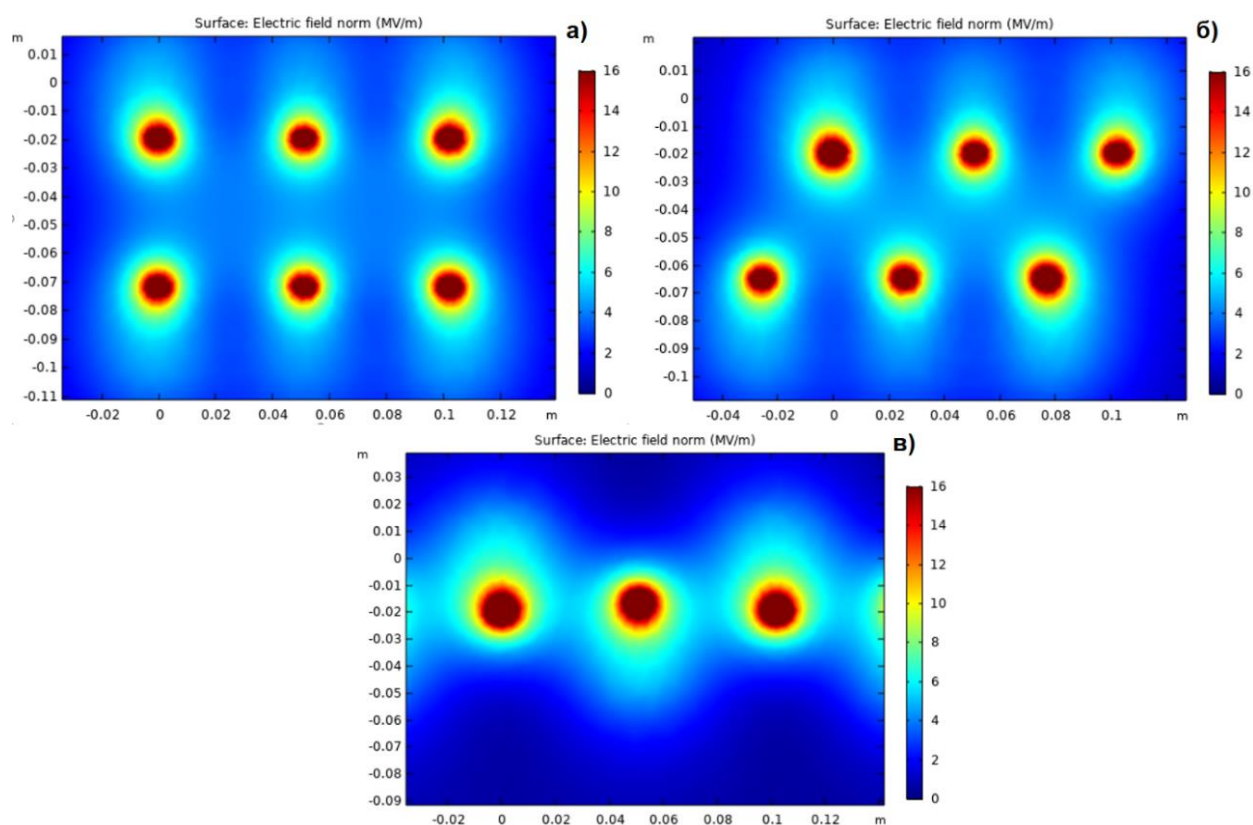


1 – рабочая часть электродной системы, 2 – изоляция, 3 – нулевая плоскость (имитирует поверхность бетона), 4 – межэлектродное расстояние

Рисунок 22 – Эскиз электродной системы вариант три, без креплений
(перспектива, вид сбоку, вид сверху)

2.4 Расположение электродов

У электродной системы, вариант первый, ввиду конструктивных особенностей, – практически единственный вариант размещения рабочей части, при котором напряженность электрического поля в межэлектродном промежутке максимальна. У других электродных систем возможно несколько вариантов расположения. На рисунке 23 представлено смоделированное распределение напряженности электрического поля на поверхности образца бетона в случае различного размещения электродов. При этом электроды с различным потенциалом находятся на равноудаленном расстоянии.



а) расположение электродов с одинаковым потенциалом на одной горизонтальной оси, под прямым углом по отношению к электродам с противоположным потенциалом; б) расположение электродов в шахматном порядке с чередованием потенциалов; в) расположение всех электродов вдоль горизонтальной оси, с чередованием потенциала

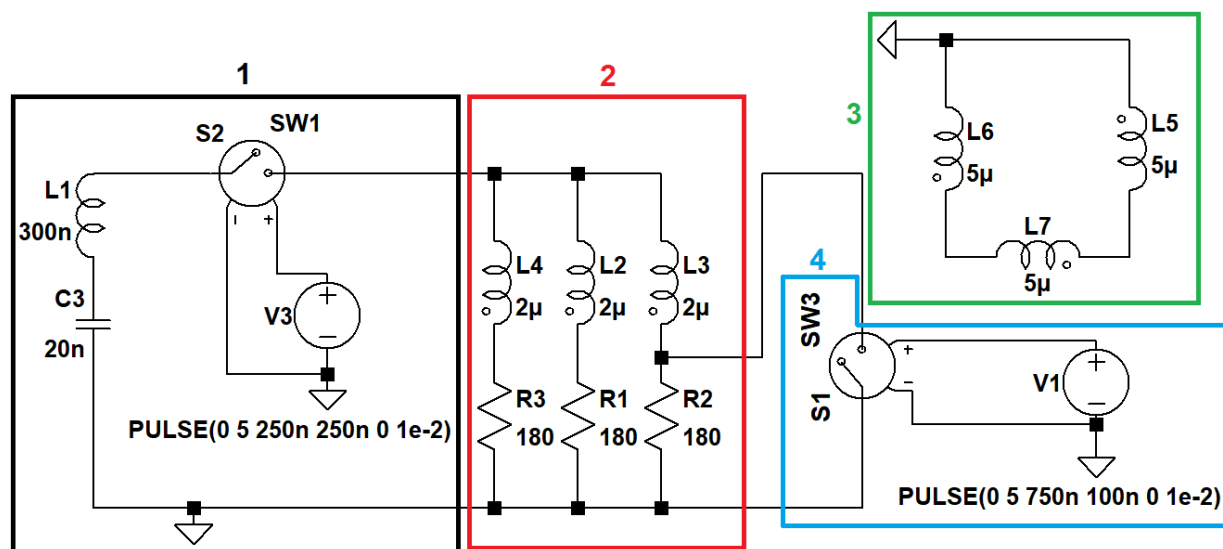
Рисунок 23 – Напряженность электрического поля на поверхности бетона при различном расположении рабочих частей электродной системы

В целях наибольшей вероятности пробоя выбран вариант, при котором электроды расположены вдоль одной линии (рисунок 23, в).

2.5 Способ повышения эффективности электродной системы

Возможным способом повышения эффективности электродной системы является адаптация анодного делителя тока, представленного в работе [58], для электродной системы.

Произведем компьютерное моделирование предполагаемого решения в программном обеспечении LTSpice. На рисунке 24, представлена условная модель с соответствующими обозначениями, при этом коэффициент связи между катушками индуктивности: L2 и L6, L3 и L5, L4 и L7, равен единице.



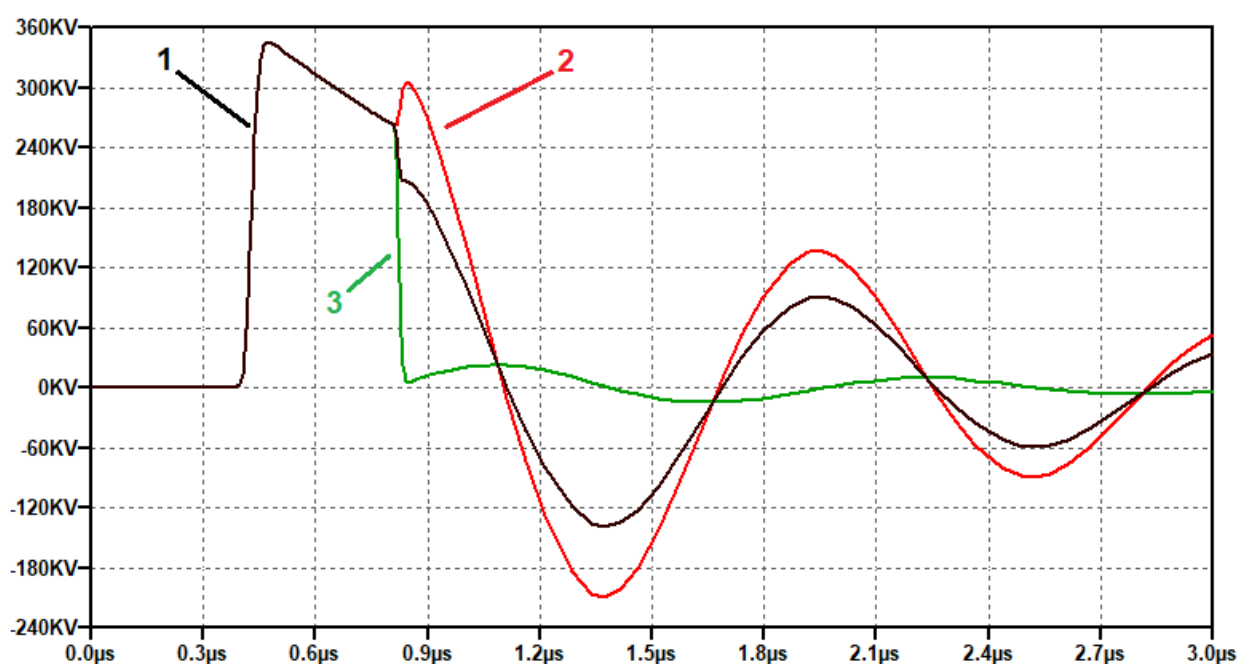
1 – генератор импульсных напряжений, 2 – электродная система, 3 – анодный делитель тока, 4 – разрядный канал

Рисунок 24 – Моделирование анодного делителя тока

В результате пробоя межэлектродного промежутка, представленного в виде катушки индуктивности L3 и резистора R2, ток протекающий через катушку (L3) резко возрастает, но ограничивается на уровне тока перемагничивания ферромагнитного сердечника (L5). Ток протекающий по анодному делителю, выполненному по схеме с общими короткозамкнутыми

витками, вызывает индуцирование Э.Д.С., в виде резкого скачка напряжения, на остальных электродах (рисунок 25). Что позволяет увеличить вероятность внедрения канала разряда в твердый диэлектрик на остальных промежутках, вследствие поддержания достаточной амплитуды напряжения.

Хоть данное техническое решение и представляет определенный интерес – является отдельным объектом исследования, для подробного исследования которого требуется генератор импульсных напряжения с низкой собственной индуктивностью совместно с проведением многочисленных экспериментов.



1 – напряжение в точке присоединения генератора импульсного напряжения к электродной системе, 2 – напряжение на электродах, без замыкания межэлектродного промежутка, 3 – напряжение на электроде с замыканием межэлектродного промежутка

Рисунок 25 – Осциллограмма, полученная в ходе компьютерного моделирования

2.6 Изготовленные электродные системы

Ниже представлены изготовленные электродные системы (рисунок 26-28), во всех случаях начальная толщина изоляции равнозначна и составляла не более 7,5 мм. На начальном этапе испытаний это продиктовано наличием масштабного эффекта изоляции.

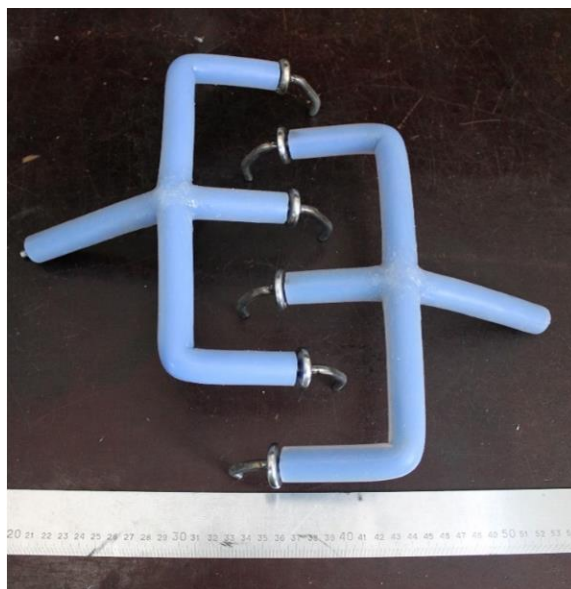


Рисунок 26 – Изготовленная электродная система, вариант первый



Рисунок 27 – Изготовленная электродная система, вариант второй



Рисунок 28 – Изготовленная электродная система, вариант третий

Вывод по разделу: три вышеприведенные конфигурации электродных систем не являются единственными возможными. Рассмотрение других конфигураций является мало целесообразным вследствие большого количества возможных вариантов исполнения и трудоёмкого процесса оценки каждого варианта.

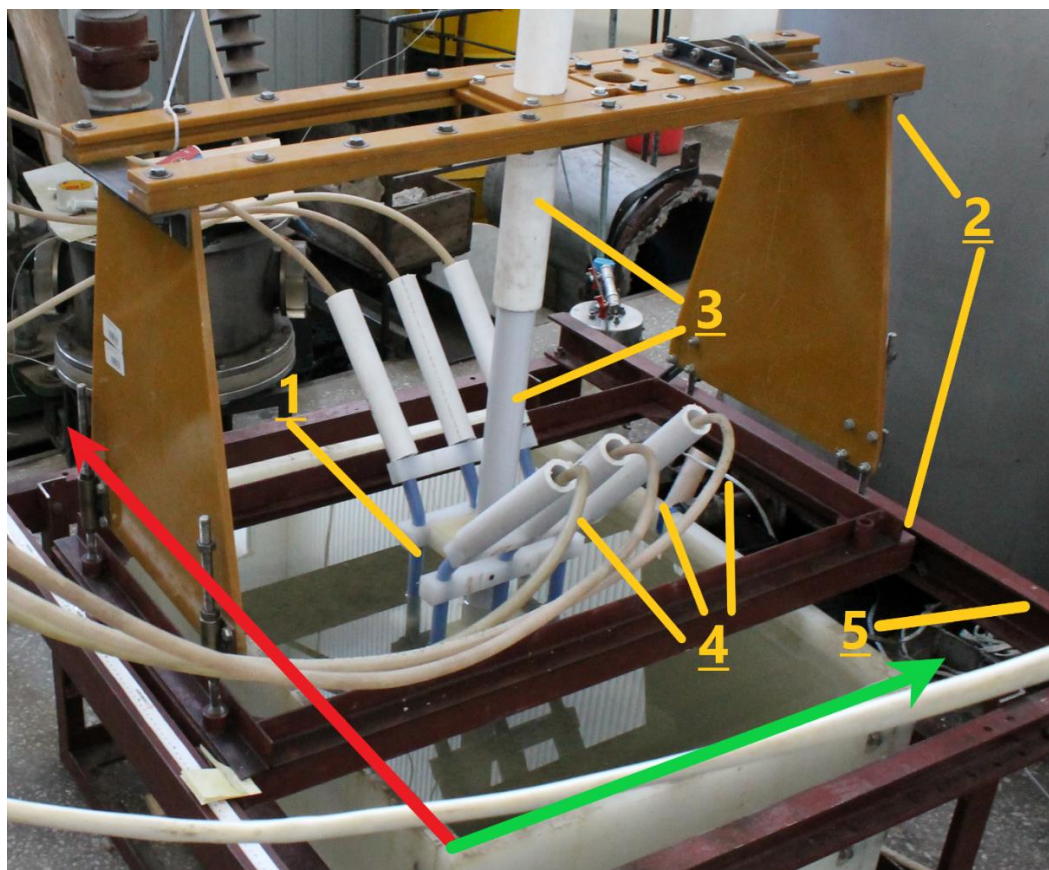
3 Экспериментальная оценка полученных электродных систем

3.1 Цель проведения экспериментов

Целью эксперимента является регистрация вероятного пробоя разработанных изолированных электродных систем с определением возможных причин, а также установление производительности и удельных энергозатрат электроимпульсного снятия поверхностного слоя железобетонных изделий в эксплуатационном режиме.

3.2 Экспериментальный стенд

На рисунке 29 изображен экспериментальный стенд.



1 – электродная система, 2 – каркас системы позиционирования, 3 – крепление к каркасу системы позиционирования, 4 – провод от генератора импульсных напряжений, 5 – металлическая рама

Рисунок 29 – Экспериментальный стенд

Крепление электродной системы к системе позиционирования, осуществлялось с помощью двух пластиковых труб. Внутри металлической рамы расположена разрядная камера, изготовленная из полиэтилена, заполненная водой. Сама электродная система размещалась на поверхности бетонного образца, находящегося в разрядной камере. Электрическое соединение электродной системы и генераторов импульсных напряжений осуществлялось посредством проводов.

Генерирование высоковольтных импульсов, воздействующих на испытываемую электродную систему, осуществлялось двумя способами:

1 два пятиступенчатых генератора импульсных напряжений по схеме Аркадьева-Маркса (ёмкость конденсаторной ступени каждого из них равнялась 100 нФ), далее именуемые как ГИН-1 и ГИН-2, работали синхронно, но генерировали импульсы разной полярности. Регистрация выходных импульсов реализовывалась посредством делителей импульсных напряжений ДИН-1 и ДИН-2 (рисунок 30);

2 два вышеупомянутых генератора (ГИН-1 и ГИН-2) соединялись последовательно и генерировали монополярные импульсы, причём электроды, не соединённые с полученным генератором, заземлялись. Регистрация выходных импульсов реализовывалась посредством делителя импульсных напряжений ДИН-1 (рисунок 31).

Второй способ предназначен для испытания электродной системы окончательного варианта и сравнения удельной производительности при воздействии импульсов различной полярности. Регистрация тока в обоих способах осуществлялась с помощью токового шунта, изображенного на электрической схеме замещения для первого способа генерации (рисунок 32).

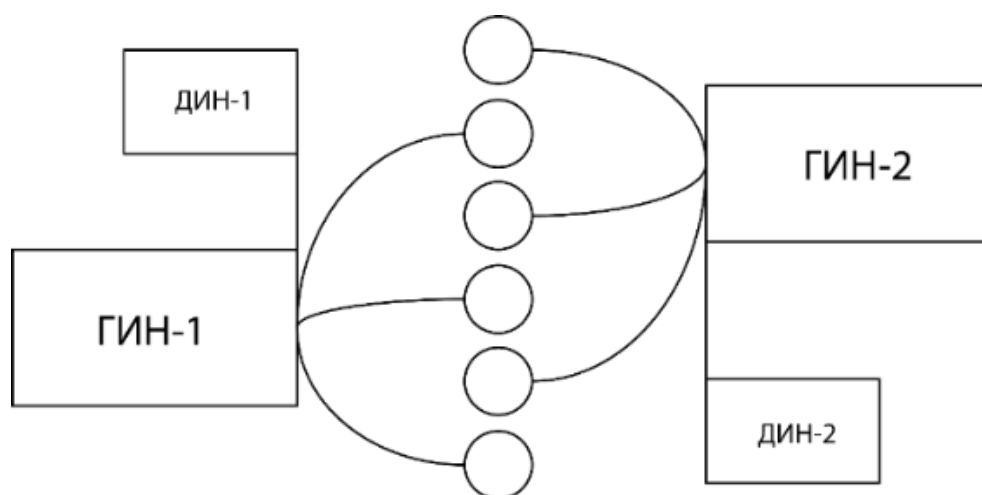


Рисунок 30 – Генерирование высоковольтных импульсов, способ первый
(электродная система представлена в виде окружностей)

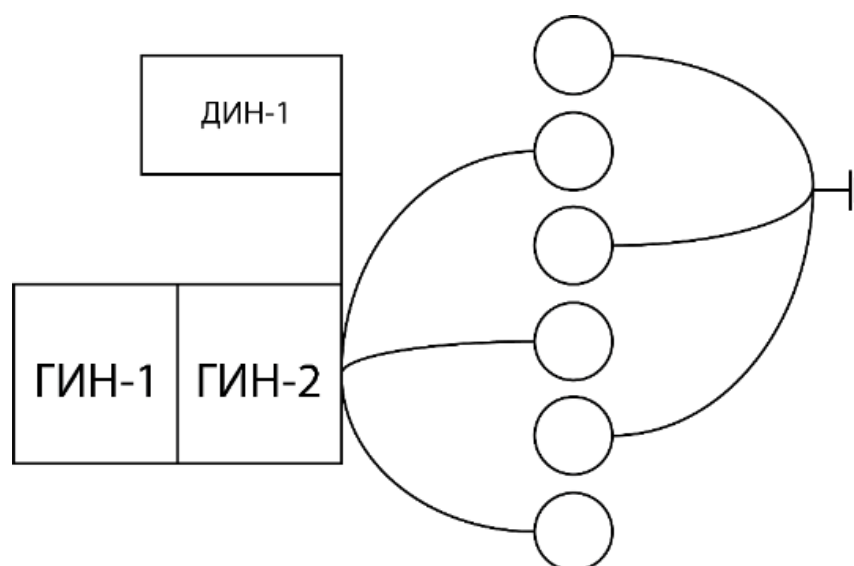
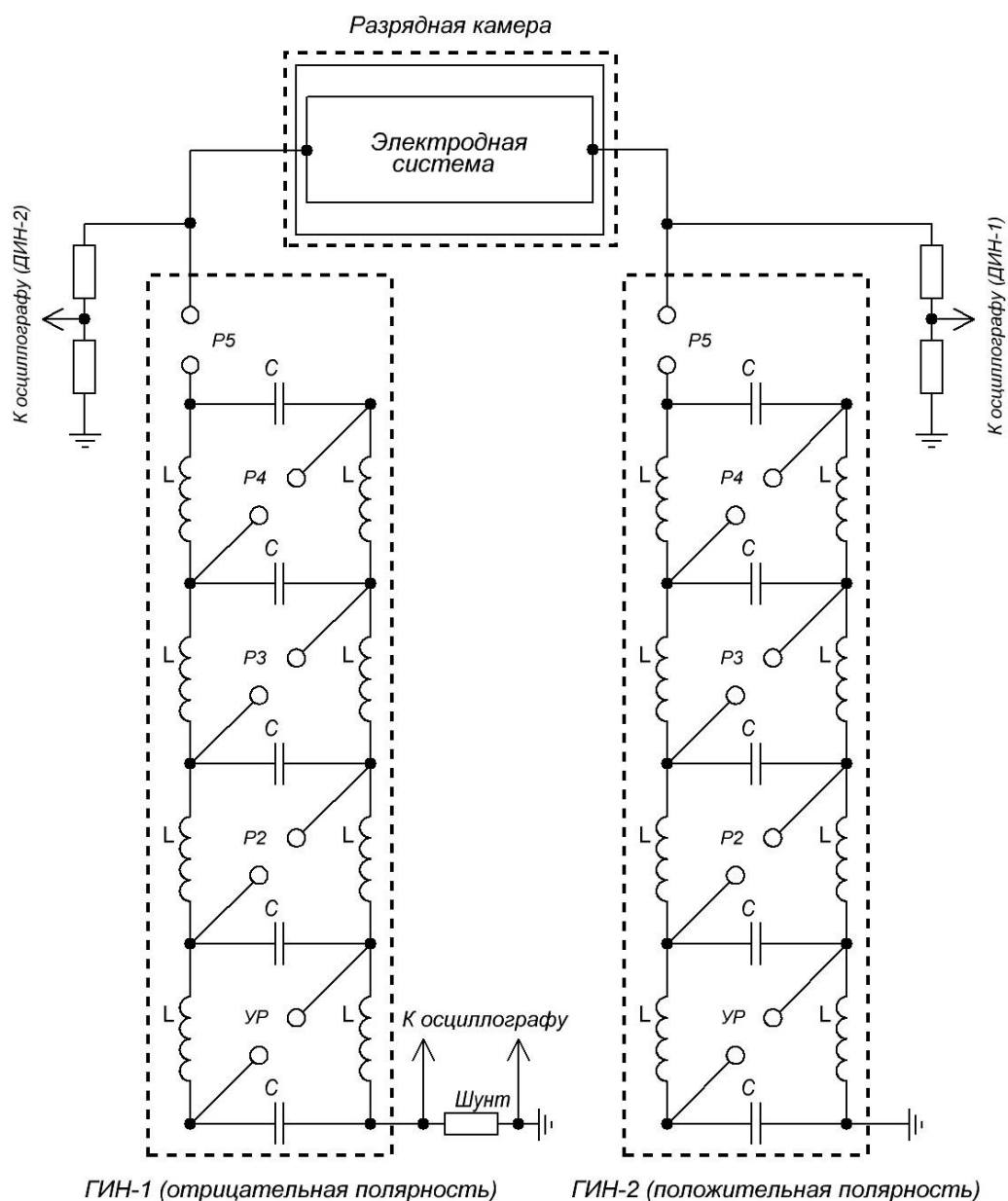


Рисунок 31 – Генерирование высоковольтных импульсов, способ второй
(электродная система представлена в виде окружностей)



УР – управляемый разрядник; P2-P5 – шаровой разрядник; ДИН-1,2 – делитель импульсного напряжения; С – высоковольтный конденсатор ИК-200-0,1;

L – зарядная индуктивность

Рисунок 32 – Схема замещения экспериментального стенда

3.3 Методика проведения испытаний

Положение электродной системы во всех случаях менялось в пределах одной оси (красная стрелка на рисунке 29). Шаг равен трём сантиметрам, количество импульсов на каждой позиции равнялось двадцати – это

обусловлено углублением электродной системы в объём образца и возможностью пробоя не образца, а образовавшегося боя бетона, вследствие чего снижается удельная производительность. Зарядное напряжение ГИН-1 и ГИН-2 в ходе экспериментов варьировалось, неизменной оставалась ёмкость конденсаторной ступени.

По окончании проведения каждого из экспериментов вода с разрядной камеры, без боя бетона, сливалась. Затем изъятый бой бетона высушивался (рисунок 33) и помещался в мерный стакан (рисунок 34), предварительно заполненный определенным количеством воды – таким образом производилось измерение объёма снятого слоя.



Рисунок 33 – Высушенный бой бетона



Рисунок 34 – Измерение объёма снятого слоя

Производительность разрушения за один импульс (Q) оценивалась следующим образом:

$$Q = \frac{V}{n}, \quad (1)$$

где V – объём разрушения;

n – количество воздействующих импульсов, либо импульсов в результате которых произошёл пробой бетона.

Расчёт удельных энергозатрат производился по формуле:

$$W = \frac{V}{W_{\text{ГИН}}}, \quad (2)$$

где V – объём разрушения;

$W_{\text{ГИН}}$ – разрядная энергия ГИН.

В свою очередь разрядная энергия ГИН рассчитывалась по формуле:

$$W_{\text{ГИН}} = N \cdot \frac{C_{\text{ГИН}} \cdot (n_{\text{ГИН}} \cdot U_{\text{зар}})^2}{2}, \quad (3)$$

где $C_{\text{ГИН}}$ – емкость генератора в разряде;

$n_{\text{ГИН}}$ – количество ступеней генератора;

$U_{\text{зар}}$ – зарядное напряжение;

N – количество одновременно работающих генераторов.

3.4 Испытание электродных систем

Первый этап испытаний проводился на некондиционном железобетонном блоке (рисунок 35) с неопределенным классом прочности бетона.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ72	Протопопов Игорь Алексеевич

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов НИОКР: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов, стоимость спецоборудования, тарифные ставки исполнителей НИОКР.
---	--

2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая ставка взносов во внебюджетные фонды – 30%.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ.
--	---

2. Формирование плана и графика разработки и внедрения НИОКР	Составление перечня этапов и работ, распределение исполнителей, определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения НИОКР.
--	---

3. Составление бюджета НИОКР	Расчет бюджета на материальные затраты НИОКР; Расчёт арендной платы за использование специального оборудования; Основная и дополнительная заработные платы исполнителей; Формирование бюджета затрат НИОКР.
------------------------------	---

4. Оценка финансовой эффективности НИОКР	Расчёт технологической себестоимости снятия поверхностного слоя; Сравнение с аналогами..
--	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Протопопов Игорь Алексеевич		

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью данного раздела является обоснование конкурентных преимуществ снятия поверхностного слоя железобетонных изделий электроимпульсным способом.

4.1 Оценка коммерческого потенциала инженерного решения

Цель научных исследований: разработка изолированной электродной системы для электроимпульсных технологий. Данное исследование необходимо для повышения энергоэффективности электроимпульсных технологий и возможности создания компактных автономных систем для разрушения железобетонных изделий. Поэтому целесообразно оценивать потенциал и перспективность создания электроимпульсной установки, а не конкретный узел. Ввиду этого, сравнение будет проводиться с другими

установками по снятию поверхностного слоя железобетонных изделий, применяемых для дезактивации ядерных объектов.

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, на основе ранее проведенного литературного обзора существующих технических решений по снятию поверхностного слоя, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, в сумме должны составляют 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (6)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Энергоэкономичность	0,1	5	2	2	0,5	0,2	0,2
Безопасность	0,05	2	4	2	0,1	0,2	0,1
Производительность	0,2	4	3	4	0,8	0,6	0,8
Простота эксплуатации	0,1	3	4	2	0,2	0,4	0,2
Надежность	0,1	3	2	3	0,3	0,2	0,3
Массогабаритные параметры	0,1	3	4	2	0,3	0,4	0,2
Уровень шума	0,05	2	2	2	0,1	0,1	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
Цена	0,1	3	3	2	0,3	0,3	0,2
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	2	3	0,3	0,2	0,3
Итого	1				3,2	3	2,8

Проведенный анализ показал, что с позиции технико-экономических критериев оценки, планируемый технический продукт способен заинтересовать потенциальных покупателей.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта.

Таблица 7 – Матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии С2. Экологичность технологии. С3. Наличие квалифицированного персонала. С4. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний. С5. Наличие экспериментальных данных в данной области.	Слабые стороны научно-исследовательского: Сл1. Отсутствие у потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл2. Отсутствие демонстрационной установки. Сл3. Длительный срок изготовления и испытания готовой установки. Сл4. Отсутствие опыта в создании установок такого класса. Сл5. Слабая осведомленность о продукте у потенциальных потребителей
Возможности: В1. Изменение правительственной политики в области энергосбережения. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок. В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В4. Уменьшение цены на используемые комплектующие. В5. Увеличение производительности установки, вследствие научно-технического прогресса.	Угрозы: У1. Ограничения на экспорт технологии. У2. Отсутствие спроса на новые технологии. У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации оборудования.

В рамках следующего этапа производится построение интерактивной матрицы проекта (таблица 8)

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта					Слабые стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	B1	+	+	-	-	+	-	+	-	-	+
	B2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B3	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
	B4	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	B5	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Угрозы проекта	У1	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	У2	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+
	У3	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-

При анализе сильных сторон проекта, выявлены следующие корреляции сильных сторон проекта и возможности: B1C1C2C3C5, B2C1, B3C1C3C4, B4C1, B5C1C2C3. Равным образом можно выявить следующие корреляции сильных сторон и угроз: У2C1C2C5, У3C5.

В случае анализа слабых сторон выявлены следующие корреляции слабых сторон проекта с возможностями: B1Сл2Сл5, B4Сл3. Также выявлены следующие корреляции слабых сторон и угроз: У1Сл3, У2Сл1Сл5, У3Сл2Сл3Сл4.

Таблица 9 – SWOT анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии С2. Экологичность технологии. С3. Наличие квалифицированного персонала. С4. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний. С5. Наличие экспериментальных данных в данной области.	Слабые стороны научно-исследовательского: Сл1. Отсутствие у потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл2. Отсутствие демонстрационной установки. Сл3. Длительный срок изготовления и испытания готовой установки. Сл4. Отсутствие опыта в создании установок такого класса. Сл5. Слабая осведомленность о продукте у потенциальных потребителей
--	--	--

Продолжение таблицы 9

Возможности: В1. Изменение правительственной политики в области энергосбережения. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок. В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В4. Уменьшение цены на используемые комплектующие. В5. Увеличение производительности установки, вследствие научно-технического прогресса.	Ужесточение законов в области энергосбережения совместно с невысокой стоимостью установки, достигнутой благодаря использованию инновационной инфраструктуры ТПУ повышает привлекательность технологии. В свою очередь, в будущем, может быть достигнут существенный прирост производительности, вследствие ослабления технических ограничений на данном этапе.	В условиях отсутствия демонстрационной установки и слабой осведомленности о продукте – маловероятно ужесточение правительственной политики к установкам такого класса. Уменьшение цен, на используемые комплектующие, позволит достичь более высоких экономических показателей.
Угрозы: У1. Ограничения на экспорт технологии. У2. Отсутствие спроса на новые технологии. У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации оборудования.	Наличие экспериментальных данных о работе технологии, позволяет снизить вероятность введения дополнительных требований к сертификации оборудования. Заявленные технико-экономико- экологические показатели, могут создать спрос на данную технологию.	Отсутствие квалифицированных кадров, слабая осведомленность о технологии, а также введение дополнительных государственных регулирующих – существенно снижают привлекательность технологии.

4.2 Формирование плана и графика разработки и внедрения НИОКР

4.2.1 Структура предполагаемых работ в рамках НИОКР

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 – ведущий научный сотрудник, 3 старших научных сотрудников различной специфики, 4 высококвалифицированных рабочих. В целях минимизации объёма, старшим научным сотрудником и высококвалифицированным рабочим присваиваются буквенные коды.

Данные заносятся в таблицу 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического предложения	1	Подбор и изучение материалов по теме, поиск аналогов	Руководитель
	2	Проведение патентных исследований	Старший научный сотрудник (а, б, в)
	3	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)
	4	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Старший научный сотрудник (а, б, в), высококвалифицированный рабочий (а, б, в, г)
	5	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями и оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	6	Составление технического предложения	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)
Разработка технического задания	7	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)
Проектирование и разработка рабочей конструкторской документации	8	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы установки	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)
	9	Согласование массогабаритных параметров узлов установки	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)
	10	Расчёт конструкции 2-х генераторов импульсных напряжений по схеме Аркадьева-Маркса и рабочего модуля; выбор зарядного устройства; разработка блоков запусков ГИН	Старший научный сотрудник (а)
	11	Выбор и расчёт конструкции системы удаления шлама и рециркуляции воды,	Старший научный сотрудник (б)
	12	Выбор готовой самоходной установки и её модификация в целях размещения других узлов	Старший научный сотрудник (в)

Продолжение таблицы 10

	13	Проектирование системы управления установкой и рабочего модуля	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)
	14	Составление рабочей конструкторской документации на изготовление опытного образца	Старший научный сотрудник (а, б, в)
	15	Утверждение рабочей конструкторской документации	Руководитель
Опытно-конструкторские работы	16	Поиск и закупка материалов	Старший научный сотрудник (а, б, в)
	17	Токарные работы по изготовлению рабочих деталей	Высококвалифицированный рабочий (а)
	18	Сварочные работы по изготовлению рабочих деталей	Высококвалифицированный рабочий (б)
	19	Модификация самоходной установки	Высококвалифицированный рабочий (в, г)
	20	Слесарные работы	Высококвалифицированный рабочий (в, г)
	21	Монтаж конструктивных узлов на самоходную установку	Высококвалифицированный рабочий (в, г)
	22	Изготовление системы управления	Высококвалифицированный рабочий (в, г), старший научный сотрудник (а, б, в)
	23	Испытание опытного образца	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в), высококвалифицированный рабочий (в, г)
Оформление комплекта документации по опытно-конструкторским работам	24	Составление эксплуатационно-технической документации	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путём в человеко-днях и носит вероятностных характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости (t_{oji}) используется следующая формула:

$$t_{oji} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5}, \quad (7)$$

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

$t_{\max i}$ – 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}), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (8)$$

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

В целях наглядности также построим диаграмму Ганта, для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (9)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{247} = 1,478 \quad (10)$$

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

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

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

Полученные данные занесены в таблицу 6.

Таблица 11 – Трудоемкость работ

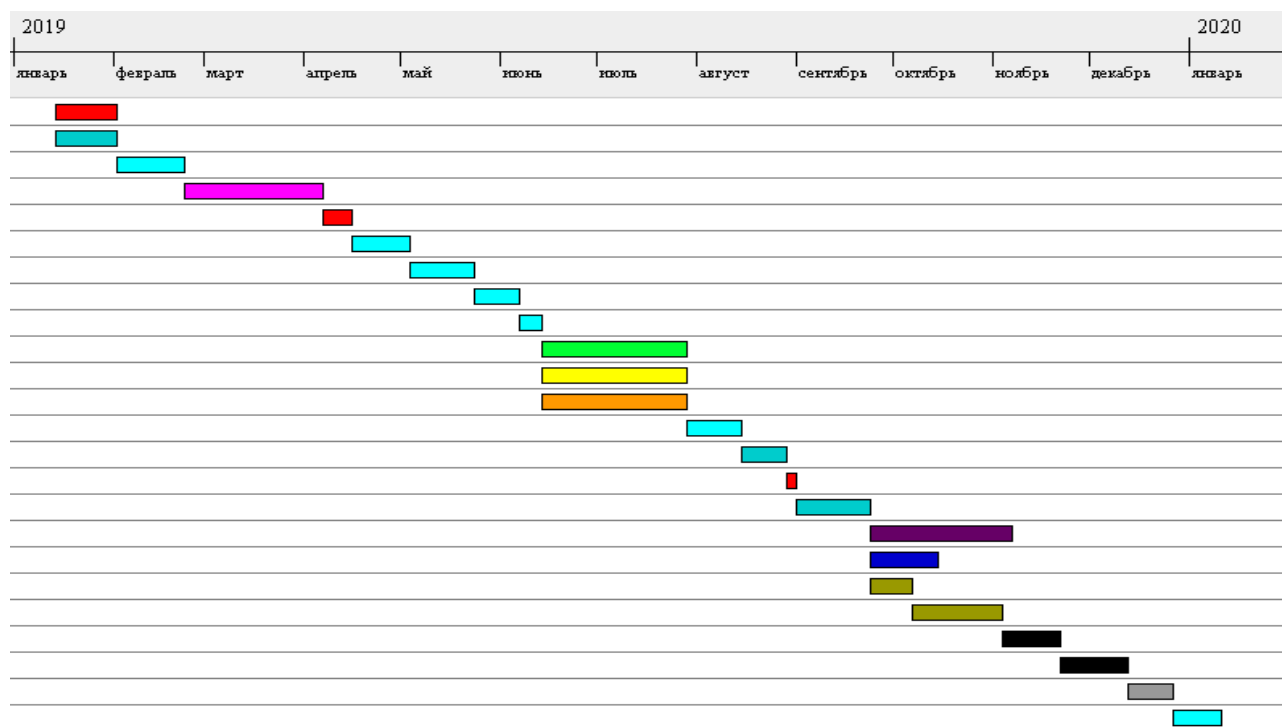
Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_p	Длительность работ в календарных днях, T_k
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни			
Подбор и изучение материалов по теме, поиск аналогов	9	18	12,6	Руководитель	12,6	19
Проведение патентных исследований	34	42	37,2	Старший научный сотрудник (а, б, в)	12,4	19
Проведение теоретических расчетов и обоснований	48	68	56	Руководитель, Старший научный сотрудник (а, б, в)	14	21
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	175	245	203	Старший научный сотрудник (а, б, в), высококвалифицированные рабочие (а, б, в, г)	29	43
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями и оценка полученных результатов	3	10	5,8	Руководитель	5,8	9
Составление технического предложения	32	68	46,4	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)	11,6	18
Составление и утверждение технического задания	36	80	53,6	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)	13,4	20
Разработка блок-схемы, принципиальной схемы установки	20	64	37,6	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)	9,4	14
Согласование массогабаритных параметров узлов установки	8	36	19,2	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)	4,8	7
Расчёт конструкции 2-х генераторов импульсных напряжений по схеме Аркадьева-Маркса; выбор зарядного устройства; разработка блоков запусков ГИН	17	50	30,2	Старший научный сотрудник (а)	30,2	45

Продолжение таблицы 11

Выбор и расчёт конструкции системы удаления шлама и рециркуляции воды	22	42	30	Старший научный сотрудник (б)	30	45
Выбор готовой самоходной установки и её модификация в целях размещения других узлов	28	34	30,4	Старший научный сотрудник (в)	30,4	45
Проектирование системы управления установкой и рабочего модуля	30	75	4	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)	11	17
Составление рабочей конструкторской документации на изготовление опытного образца	18	42	27,6	Старший научный сотрудник (а, б, в)	9,2	14
Утверждение рабочей конструкторской документации	4	12	7,2	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в)	1,8	3
Поиск и закупка материалов	30	72	46,8	Старший научный сотрудник (а, б, в)	15,6	23
Токарно-фрезерные работы по изготовлению рабочих деталей	23	40	29,8	Высококвалифицированный рабочий (а)	29,8	44
Сварочные работы по изготовлению рабочих деталей	7	25	14,2	Высококвалифицированный рабочий (б)	14,2	21
Модификация самоходной установки	9	30	17,4	Высококвалифицированный рабочий (в, г)	8,7	13
Слесарные работы	35	40	37	Высококвалифицированный рабочий (в, г)	18,5	28
Монтаж конструктивных узлов на самоходную установку	45	85	61	Высококвалифицированный рабочий (в, г), старший научный сотрудник (а, б, в)	12,2	18
Изготовление системы управления и её монтаж	62	84	70,8	Высококвалифицированный рабочий (в, г), старший научный сотрудник (а, б, в)	14,16	21
Испытание опытного образца	50	66	56,4	Руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в), высококвалифицированный рабочий (в, г)	9,4	14

Продолжение таблицы 11

Составление эксплуатационно-технической документации	35	45	39	Руководитель, инженерный состав	9,75	15
Общая продолжительность работ в календарных днях:						362



- - руководитель ; ■ - старший научный сотрудник (а, б, в);
■ - руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в) ; ■ - старший научный сотрудник (а, б, в), высококвалифицированный рабочий (а, б, в, г);
■ - старший научный сотрудник (а) ; ■ - старший научный сотрудник (б);
■ - старший научный сотрудник (в); ■ - высококвалифицированный рабочий (в, г) ; ■ - высококвалифицированный рабочий (б);
■ - высококвалифицированный рабочий (а); ■ - старший научный сотрудник (а, б, в), высококвалифицированный рабочий (в, г);
■ - руководитель, старший научный сотрудник (а, б, в), высококвалифицированный рабочий (в, г).

Рисунок 60 – Диаграмма Ганта

4.3 Составление бюджета НИОКР

4.3.1 Бюджет на материальные затраты

При планировании затрат на НИОКР практически невозможно точно оценить – сколько и какие именно материальные затраты будут необходимы для данной разработки. Поэтому закладываем бюджет на конкретные узлы установки по снятию поверхностного слоя, исходя из технического отчёта [3], с учётом поправки на инфляцию.

Таблица 12 – Оценочный бюджет на материальные затраты

Наименование	Бюджет, млн. руб	Примечание
Высоковольтный модуль	4,5	Высоковольтные конденсаторы, шаровые разрядники, зарядные индуктивности, провода, высоковольтные источники питания, корпус генератора импульсных напряжений
Рабочий модуль	1,9	Система позиционирования, разрядная камера, электродная система
Система отвода шлама	2,43	Водяные насосы, вакуумные насосы, система управления, коллекторы, трубы, фитинги, накопительные емкости, сепараторы, регуляторы расхода и давления
Самоходная установка	2,7	Самоходная установка, система управления самоходной установкой
Итого	11,53	

4.3.2 Арендная плата за использование специального оборудования

Арендную плату за использования специального оборудования, рассчитываем из условия, что она приравнена к норме амортизации оборудования. Полученные значения заносим в таблицу 13.

Таблица 13 – Арендная плата за использование специального оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.	Срок полезного использования, лет	Время использования, дней	Арендная плата, руб
1	Персональные компьютеры	400000	3	268	98000
2	Токарно-винторезный станок 16K20	600000	10	87	14440

Продолжение таблицы 13

3	Широкоуниверсальный фрезерный станок СФ-676	540000	10	87	12960
4	Осциллограф Tektronix TDS3054	245000	10	57	3920
5	Радиально-сверлильный станок 2К52-1	200000	13	87	3600
6	Набор электроинструментов	114000	3	123	12768
7	Набор инструментов и оснастки	80000	3	123	8960
8	Сварочный аппарат	40000	2	21	1160
Итого					155808

4.3.3 Основная заработная плата

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) сотрудника рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (11)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (12)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

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

Ввиду того, что руководитель несёт полную ответственность – контролирует ход работ в течении всего НИОКР, то его действительный фонд рабочего времени будет равен 244 дням.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Научный сотрудник			Высококвалифицированный рабочий			
		а	б	в	а	б	в	г
Календарное число дней	362	294	294	294	87	64	137	137
Количество нерабочих дней								
- выходные дни	106	90	90	90	25	19	39	39
- праздничные дни	12	12	12	12	3	2	3	3
Действительный фонд рабочего времени	244	192	192	192	59	43	95	95

Месячный должностной оклад работник

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (13)$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент (30% от $З_{\text{б}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

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

Базовые оклады ведущего научного сотрудника и старшего научного сотрудника приняты согласно документу ТПУ «Оклады по новой системе оплаты труда с 01.10.2013 г.» [59], базовый оклад высококвалифицированного рабочего принять согласно проекту коллективному договору ИСЭ СО РАН на 2019-2022 гг. [60].

Полученные данные сводятся в таблицу 15.

Таблица 15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители		Зб, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Зм, руб	Здн, руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, руб.
Руководитель		28924,94	0,3	0,2	1,3	56403	2558	244	624152
Старший научный сотрудник	а	20080,87	0,3	0,2	1,3	39158	1776	192	340992
	б	20080,87	0,3	0,2	1,3	39158	1776	192	340992
	в	20080,87	0,3	0,2	1,3	39158	1776	192	340992
Высоко-квалифицированный рабочий	а	13396	0,3	0,2	1,3	26122	1184	59	69856
	б	13396	0,3	0,2	1,3	26122	1184	43	50912
	в	13396	0,3	0,2	1,3	26122	1184	95	112480
	г	13396	0,3	0,2	1,3	26122	1184	95	112480
Итого									1992856

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (14)$$

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

Полученные данные заносим в таблицу 16.

Таблица 16 – Расчёт дополнительной заработной платы исполнителей темы

Исполнители		Здн, руб	Количество рабочих дней на стадии проектирования	Зосн, руб	Здоп, руб
Ведущий научный сотрудник		2558	56	143248	21487
Старший научный сотрудник	а	1776	95	168720	25308
	б	1776	95	168720	25308
	в	1776	95	168720	25308

Продолжение таблицы 16

Высоко-квалифицированный рабочий	а	1184	0	0	0
	б	1184	0	0	0
	в	1184	0	0	0
	г	1184	0	0	0
Итого				649408	97411

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (15)$$

где $k_{внеб}$ — коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, по состоянию на 2019 составляет 30%.

Полученные значения заносим в таблицу 17.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители		Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисление во внебюджетные фонды, руб.
Ведущий научный сотрудник		624152	21487	193692
Старший научный сотрудник	а	340992	25308	109890
	б	340992	25308	109890
	в	340992	25308	109890
Высоко-квалифицированный рабочий	а	69856	0	20957
	б	50912	0	15274
	в	112480	0	33744
	г	112480	0	33744
Итого		1992856	97411	627080

4.3.6 Накладные расходы

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

Накладные расходы составляют 16% от суммы всех статей рассчитанных ранее. Полученное значение заносим в таблицу 18.

4.3.7 Итоговый бюджет НИОКР

Рассчитываем итоговый бюджет НИОКР, полученное значение отображено в таблице 13.

Таблица 18 – Итоговый бюджет НИОКР

Затраты и отчисления	Сумма, руб	Процентное соотношение, %
Материальные затраты НИОКР	11530000	69,012
Арендная плата за использование спецоборудования	155808	0,932
Затраты по основной заработной плате исполнителей	1992856	11,927
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	97411	0,583
Отчисления во внебюджетные фонды	627080	3,753
Накладные расходы	2304505	13,793
Итоговый бюджет НИОКР	16707660	100

4.4 Оценка финансовой эффективности НИОКР

Расчёты основываются на следующих исходных условиях:

– у объекта в наличии несколько частей, сроки полезного использования которых существенно отличаются, поэтому каждая такая часть учитывается как самостоятельный объект. Наименование частей: генераторы импульсных напряжений, основной узел;

– при начислении амортизации применяется нелинейный способ – списание стоимости пропорционально объему работ;

– предполагаемый ресурс генераторов импульсных напряжений равен 1851 квадратному метру снятого поверхностного слоя железобетонных изделий;

– ресурс основного узла приравнен 11820 квадратным метрам снятого поверхностного слоя железобетонных изделий;

– общая стоимость оборудования (Ц) равна итоговому бюджету НИОКР (таблица 18), стоимость генераторов импульсных напряжений равна десяти процентам от общей стоимости оборудования;

– потребление электроэнергии и воды установкой при снятии поверхностного слоя площадь в один квадратный метр составляет 20 кВт·ч и 0,5 м³, соответственно.

Для исчисления технологической себестоимости, воспользуемся группировкой затрат по статьям.

4.4.1 Расчёт технологической себестоимости снятия поверхностного слоя

– Основная заработная плата производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды

При работе с любой высоковольтной установкой рекомендуется как минимум два человека, условимся, что заработная плата по тарифной ставке составит 25000 рублей. Тогда месячный должностной оклад каждого работника определятся по (13):

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 25000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) = 37500 \text{ р}$$

Среднедневная заработная плата (12):

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot \text{М}}{F_{\text{д}}} = \frac{37500 \cdot 11,2}{247} = 1700 \text{ р}$$

Основная заработная плата (11):

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p = 1700 \cdot 247 = 419900 \text{ р}$$

Отчисление во внебюджетные фонды (15):

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 419900 \text{ р} = 125970 \text{ р}$$

Годовой зарплатный фонд ($C_{\text{год.фонд}}$) на двух сотрудников составит:

$$C_{\text{год.фонд}} = 2 \cdot (З_{\text{внеб}} + З_{\text{осн}}) = 1091740 \text{ р} \quad (16)$$

Так как предполагаемая снимаемая площадь равна 3940 м² в год, затраты на 1 м² составят 277 рублей.

– Топливо и энергия на технологические цели

При ценах за электроэнергию 4 $\frac{\text{руб}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$ и воду 40 $\frac{\text{р}}{\text{м}^3}$, с учётом вышеизложенных исходных условий, затраты на 1 м² составят 100 рублей.

– Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Амортизация основного узла ($A_{\text{осн.уз}}$) составит:

$$A_{\text{осн.уз}} = \frac{0,9 \cdot Ц}{\text{СОУ}} = \frac{0,9 \cdot 16707660 \text{ р}}{11820 \text{ м}^2} = 1272 \frac{\text{р}}{\text{м}^2}, \quad (17)$$

где Ц – итоговый бюджет НИОКР, р;

СОУ – срок полезного использования основного узла, м².

Амортизация генератора импульсных напряжений:

$$A_{\text{осн.уз}} = \frac{0,1 \cdot Ц}{\text{СГИН}} = \frac{0,1 \cdot 16707660 \text{ р}}{11820 \text{ м}^2} = 903 \frac{\text{р}}{\text{м}^2}, \quad (18)$$

где СГИН – срок полезного использования генератора импульсных напряжений.

4.4.2 Итоговая технологическая себестоимость

Итоговая технологическая себестоимость снятия поверхностного слоя площадью один квадратный метр будет определяться суммированием затрат, рассчитанных в предыдущем подразделе, полученные данные заносим в таблицу 19.

Таблица 19 – Итоговая технологическая себестоимость

Статья калькуляции	Сумма, руб/м ²	Процентное соотношение, %
Заработная плата производственных рабочих	213	8
Отчисления на социальные нужды	64	4
Топливо и энергия	100	3
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	2175	85
Итого	2552	100

4.4.3 Сравнение с аналогами

Следует подчеркнуть, что иерархическая структура работ, по снятию поверхностного слоя, включает в себя множество пунктов [61].

Сравнивая электроимпульсный способ снятия поверхностного слоя с другим аналогичным, основываясь на данных полученных Министерством энергетики США [61]. В которых указано, что стоимость снятия поверхностного слоя площадью в один квадратный метр, толщиной в три миллиметра, механическим способом равна 1436 рублей (с учётом инфляции и при курсе доллара США составляющим 64,72 российских рубля). И принимая во внимание, что толщина снятого слоя, электроимпульсным способом, сильно варьируется в зависимости от разных параметров. Можно судить о целесообразности дальнейших исследований в данной области с целью увеличения производительности и снижения стоимости аналогичной установки.

Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела было установлено, что электроимпульсная технология снятия поверхностного слоя железобетонных изделий с целью дезактивации ядерных объектов, может конкурировать с существующими методами, представленными на рынке. Можно заключить, что целесообразно проводить дальнейшие исследования в данной области, с целью повышения конкурентных преимуществ и дальнейшего выхода на рынок.