

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

Кафедра Высоковольтной физики и сильноточной электроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка модуля для измерения частичных разрядов в низкосортных твердых топливах УДК 662.62:537

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т21	Когай Вячеслав Семенович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
инженер- исследователь	Мартемьянов Сергей Михайлович	кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Анищенко Юлия Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой высоковольтной физики и сильноточной электроники	Ратахин Николай Александрович	Доктор физико-математических наук		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять естественнонаучные и профессиональные знания в области физики плазмы, плазменно-пучковых и электроразрядных технологий в профессиональной деятельности
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области профессиональной деятельности
P3	Применять полученные знания для решения комплексных задач, возникающих при разработке и эксплуатации новой техники и технологий
P4	Разрабатывать, внедрять, эксплуатировать и обслуживать высокотехнологичное оборудование в предметной сфере, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасность труд, выполнять требования защиты окружающей среды
P5	Владеть методами проведения и планирования аналитических, имитационных и экспериментальных исследований по своей специализации с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования в области профессиональной деятельности
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать базовые и специальные знания естественных, гуманитарных и экономических наук для ведения комплексной инженерной деятельности
P8	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной научной деятельности
P11	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля; осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования; уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки

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

Институт физики высоких технологий
 Направление подготовки Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
 Кафедра Высоковольтной физики и сильноточной электроники

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Т21	Когай Вячеслав Семенович

Тема работы:

Разработка модуля для измерения частичных разрядов в низкосортных твердых топливах
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Для разработки электрофизического способа конверсии горючих сланцев необходимо исследовать инициацию нагрева породы, посредством частичных разрядов. Следовательно, необходимо разработать модуль для измерения характеристик частичных разрядов. Измерению подлежит смешанный сигнал, сеть промышленной частоты высокого напряжения и импульсные низковольтные сигналы (от 1 мВ) короткой длительности (до 1 мкс), с фронтом единицы - десятки наносекунд.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки и техники в области измерения характеристик частичных разрядов, переработки низкосортных твердых топлив. Обязательному исследованию подлежат следующие разделы: частичные разряды в низкосортных твердых топливах, химико-геологический состав горючих сланцев, способы промышленной разработки горючих сланцев, спо-

	собы регистрации и измерения частичных разрядов. Проектирование и разработка модуля для измерения характеристик ЧР в низкосортных твердых топливах с учетом специфики электрофизических характеристик породы и исследовательского комплекса, в составе которого будет применен модуль. Методика измерений и оборудование. Анализ результатов работы. Дополнительные разделы, подлежащие разработке: социальная ответственность, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.
--	--

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
--	--

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
инженер- исследователь	Мартемьянов Сергей Михайлович	кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т21	Когай Вячеслав Семенович		

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

Уровень образования бакалавриат

Кафедра Высоковольтной физики и сильноточной электроники

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, 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)
10.09.2015	Составление и утверждение задания ВКР	1
20.09.2015	Календарное планирование работ по теме	2
01.10.2015	Подбор и изучение материалов по теме	5
30.10.2015	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	7
15.11.2015	Проведение теоретических расчетов и обоснований	5
10.12.2015	Выбор и расчет конструкции	10
30.01.2016	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	15
10.02.2016	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	15
25.02.2016	Конструирование и изготовление опытного образца	15
10.03.2016	Лабораторные испытания опытного образца	15
20.03.2016	Анализ результатов и вывод по проделанной работе	5
10.04.2016	Составление пояснительной записки	5

Составил научный руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
инженер-исследователь	Мартемьянов С.М.	кандидат технических наук		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой высоковольтной физики и сильноточной электроники	Ратахин Николай Александрович	Доктор физико-математических наук		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4Т21		Когай Вячеслав Семенович	
Институт	ИФВТ	Кафедра	ВЭСЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	140600

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

1. <i>Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Реализация проекта на базе лаборатории кафедры ВЭСЭ, ИФВТ ТПУ; - Примерный бюджет проекта 250 тыс. рублей; - В исследовании задействованы 3 человека: руководитель проекта, инженер, студент (инженер);
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	- Анализ потенциального рынка и потребителей; - Оценка конкурентоспособности электрофизического способа подземной конверсии горючих сланцев
2. <i>Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет</i>	- Планирование работ по НТП, - Формирование бюджета проекта
1. <i>Определение ресурсной, бюджетной эффективности</i>	Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Перечень этапов работ и распределение исполнителей</i>
2. <i>Календарный план проведения НИР</i>
3. <i>Диаграмма Гранта «Временные показатели проведения ВКР»</i>
4. <i>Бюджет проекта</i>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т21	Когай Вячеслав Семенович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Т21	Когай Вячеславу Семеновичу

Институт	ФВТ	Кафедра	ВЭСЭ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	140600

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<p>Объектом исследования является характеристики частичных разрядов (ЧР) в горючих сланцах. ЧР являются иницирующим фактором нагрева твердых топлив электрофизическим способом, поэтому важно определить оптимальные условия их возникновения и развития. Для этого был разработан измерительный модуль для измерения ЧР в низкосортных твердых топливах. Рабочая зона - лабораторное помещение.</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p>	<p>Анализ вредных факторов, которые в свою очередь могут оказать негативное воздействие на человека. К ним относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> • отклонение показателей микроклимата • недостаточная освещенность • повышенный уровень шума • повышенный уровень электромагнитных полей • монотонность работы и физические нагрузки <p>А также при разработке измерительного модуля возможно воздействие на человека опасных производственных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования; • электрически ток. • острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • анализ воздействия объекта и работ связанных с его исследованием на атмосферу (выбросы) • анализ воздействия объекта и работ связанных с его исследованием на гидросферу (сбросы); • анализ воздействия объекта и работ связанных с его исследованием на литосферу (отходы);

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • выбор наиболее типичной ЧС; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<ul style="list-style-type: none"> • организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Анищенко Ю.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4т21	Когай Вячеслав Семенович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 84 страницы, 17 рисунков, 13 таблиц, 24 источников, 5 приложений.

Ключевые слова: ЧАСТИЧНЫЕ РАЗЯРЯДЫ, НАГРЕВ, НИЗКОСОРТНЫЕ ТВРЕДЫЕ ТОПЛИВА, КОНВЕРСИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗЯРЯДОВ.

Целью данной работы является исследование частичных разрядов в низкосортных твердых топливах, путем измерения их основных характеристик.

Объектом исследования являются характеристики частичных разрядов в горючих сланцах.

В процессе исследования проводилось конструирование, расчет и калибровка модуля для измерения характеристик частичных разрядов низкосортных твердых топливах.

В результате исследования был разработан модуль для измерения характеристик частичных разрядов в низкосортных твердых топливах.

Область применения: электроразрядные технологии, нефтегазовая отрасль.

Экономическая эффективность/значимость работы: предложенный модуль для измерения частичных разрядов в низкосортных твердых топливах не имеет аналогов в мире, отличается сравнительно невысокой стоимостью, простой реализацией, следовательно, обладает высокой экономической эффективностью.

Выпускная квалификационная работа представлена на компакт CD-диске (в конверте на обороте обложки).

Перечень стандартов,

используемых при оформлении пояснительных записок и чертежей

- 1 ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.
- 2 ГОСТ 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
- 3 ГОСТ 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.
- 4 ГОСТ 2.301 – 68 Единая система конструкторской документации. Форматы.
- 5 ГОСТ 2.316 – 2008 Единая система конструкторской документации. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.
- 6 ГОСТ 7.9 – 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.
- 7 ГОСТ 7.11 – 2004 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных языках.
- 8 ГОСТ 7.0.12 – 2011 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Сокращения русских слов и словосочетаний в библиографическом описании произведений печати.
- 9 ГОСТ 7.32 – 2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
- 10 ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

Определения

Частичный разряд: локальный электрический разряд, который шунтирует только часть изоляции в электроизоляционной системе и возникающий в воздушных или масляных включениях, в местах пониженной электрической прочности, в многослойных системах электродов/проводников, состоящих из нескольких слоев твердой изоляции, а также в пузырьках газа (в случае жидкой изоляции) или вокруг электродов в газе.

Горючие сланцы: осадочная порода, глинистая, известковистая, кремнистая, тонкослойная, при выветривании листовая или массивная, содержащая органическое вещество (кероген) в количестве от 10-15 до 60-80 %; окраска коричневато-серая, коричневато-желтая, оливково-серая.

Обозначения и сокращения

ЧР частичные разряды

КРУ комплектное распределительное устройство

СВЧ сверх высокие частоты

SMD чип резистор

ФВЧ фильтр верхних частот

СПГ (LNG, liquefied natural gas) – сжиженный природный газ, метан (CH₄)

ГКЖ (NGL, natural gas liquids) – газоконденсатная жидкость/ газовый конденсат, более сложные, чем метан углеводороды (этан, пропан, бутан, пентан и т.д.)

СНГ (LPG) – сжиженный нефтяной газ, состоит из пропана (C₃H₈) и/или бутана (C₄H₁₀)

ТИР (TRR, technically recoverable reserves) – технически извлекаемые резервы

ГРП (hydraulic fracturing / fracking) – гидравлический разрыв пласта

ГРП-жидкость (fracking liquid) – смесь, закачиваемая в скважину при проведении ГРП

Содержание

Введение	14
1 Исследование частичных разрядов в низкосортных твердых топливах	17
1.1 Химико-геологическое описание горючих сланцев	17
1.2 Способы промышленной разработки горючих сланцев	18
1.3 Частичные разряды. Способы регистрации и измерения частичных разрядов	22
2 Модуль для измерения характеристик ЧР в низкосортных твердых топливах.	28
2.1 Методика и оборудование	29
3 Проблемы при измерении характеристик ЧР. Пути их решения	34
3.1 Результаты работы	43
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	48
4.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТП	49
4.1.1 Анализ потенциального рынка и потребителей	49
4.1.2 Оценка конкурентоспособности электрофизического способа подземной конверсии горючих сланцев	51
4.2 Планирование научно-исследовательского проекта	55
4.2.1 Определение трудоёмкости выполнения работ	55
4.2.2 График работ	56
4.3 Бюджет научно-технического проекта	57
4.3.1 Расчет материальных затрат НТП	57
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	58
4.3.3 Основная и дополнительная заработная плата испол-	

нителей темы	59
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), бюджетной эффективности НТП	59
5 Социальная ответственность	63
5.1 Производственная безопасность	64
5.2 Экологическая безопасность	69
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	70
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	70
Заключение	71
Список использованных источников	72
Приложение А Оценка резервов сланцевого газа в странах мира	75
Приложение Б Перечень этапов, работ и распределение исполнителей	76
Приложение В Временные показатели проведения проекта	78
Приложение Г Календарный план проведения НТП	79
Приложение Д Расчет основной заработной платы	82
CD диск	

Введение

Россия и весь мир вступают в новую эру топливных проблем. Цены на топливо угрожают стабильности мировой экономики. Зависимость России, которая является крупнейшим нефтепроизводителем в мире, от цен на нефть на международном рынке по-прежнему представляет собой серьезную угрозу для нашей экономики и нашей национальной безопасности. Вследствие чего, не маловажную роль играют альтернативные источники энергетического сырья. Отрасль добычи нефти и газа из горючих сланцев приостановила свое бурное развитие, но в долгосрочной перспективе сланцевый газ и нефть необходимы для удовлетворения спроса на топливном рынке. Россия занимает 3 место в мире по запасам горючих сланцев, которые могут быть конвертированы в транспортное топливо [1]. В целом в РФ запасы сланцев оцениваются в 1,9 триллионов тонн в соответствии с данными Геологической службой России - достаточно, чтобы удовлетворить потребности в топливе России на протяжении более полувека. Обеспечение энергетической независимости, стабильности экономики России является одним из наиболее важных аспектов, которые решаются путем внедрения новых технологий переработки твердых топлив. Одной из перспективных технологий является электрофизический способ конверсии низкосортных твердых топлив. Для реализации технологии необходимо определить оптимальные параметры нагрева, инициирующим фактором которого являются частичные разряды (ЧР).

Целью данной работы является исследование частичных разрядов в низкосортных твердых топливах, путем измерения их основных характеристик. Целью измерений любой величины является определение её количественного значения. Высокая точность измерений дает возможность построить максимально объективную картину протекания процесса, следовательно, позволяет научно-исследовательской группе создать технологию с оптимальными условиями инициации и последующего воздействия ЧР.

Объектом исследования являются характеристики частичных разрядов в горючих сланцах. К основным характеристикам частичных разрядов относят: кажущийся заряд - $q_{ч.р.}$ единичного ЧР, частоту следования ЧР - $n_{ч.р.}$ и средний ток ЧР - $I_{ч.р.}$.

Предметом исследования является измерительный модуль, при конструировании и выборе параметров которого следует учитывать особенности измерения частичных разрядов в горючих сланцах.

Научная и практическая значимость результатов выпускной квалификационной работы: до недавнего времени измерения характеристик частичных разрядов проводились с целью идентификации дефектов в диэлектрической изоляции и определения степени деструкции диэлектрика под действием ЧР. Другими словами, производились измерения таких частичных разрядов, которые могут повлиять на качество изоляции, а не «первоначальных», которые имеют незначительное влияние на материалы, но играют важную роль в исследовании условий возникновения ЧР и их дальнейшего воздействия на материал. Данные исследования позволят определить наиболее оптимальные условия для возникновения и развития частичных разрядов, являющиеся иницилирующим фактором нагрева низкосортных твердых топлив.

Главной проблемой, с которой мы столкнулись при измерении характеристик частичных разрядов в горючих сланцах, является отсутствие подобного рода исследований и классификации электрических разрядов в твердых топливах по форме сигнала в системе электродов «стержень-стержень» при межэлектродном расстоянии $l > 100$ мм, кроме того, измерения проводятся не при одном заданном значении напряжения, а при изменяющемся от 0 и выше. Также процесс измерений усложняет низкая емкость и высокая проводимость горючих сланцев, по сравнению с изоляционными материалами, которые влияют на соотношение емкостных и резистивных токов. Горючие сланцы весьма неоднородны по своей структуре и сильно подвержены действию ЧР, поэтому исследования на маленьких расстояниях (до единиц десятков мм) не дает объективной физической модели частичных разрядов в горючих сланцах. Наличие

разного рода помех, уровень которых на действующих объектах, как правило, значительно выше сигналов “первоначальных” ЧР значительно затрудняет процесс их отделения от сигналов ВЧ помех.

1 Исследование частичных разрядов в низкосортных твердых

топливах

Научными исследованиями частичных разрядов занимались ряд отечественных и зарубежных исследователей: Кучинский Г. С., Сви П. М., Русов В.А., Каганов З.Г., Вдовико В.П., Овсянников А.Г., Голенко О.В., Живодерников С.В., Сухогузов А. П., Беляевский О.А., Курбатова А.Ф., Gulski E., Stone G.C., Claude Kane, Sedding H.G. и другие. Но, как правило, исследования ограничивались областью диагностики электротехнического оборудования (влияние ЧР на изоляцию электрооборудования).

1.1 Химико-геологическое описание горючих сланцев

Первым шагом при исследовании процесса развития частичных разрядов и измерении их характеристик в горючих сланцах является изучение состава и структуры материала. На сегодняшний день существует множество различных определений понятия “горючий сланец” (в английской литературе “oil shale”). Наиболее полным является определение В.А. Котлукова “Сланцы горючие-осадочная порода, глинистая, известковистая, кремнистая, тонкослойная, при выветривании листовая или массивная, содержащая органическое вещество (кероген) в количестве от (10–15) % до (60–80) %; окраска коричневато-серая, коричневато-желтая, оливково-серая. Обладает способностью в тонкой пластинке или куске загораться от спички. Горючая часть сланцев сапропелевая или гумусово-сапроперлевая”. Так же стоит заметить, что горючие сланцы представляют собой сильно уплотненную систему из минеральной и органической составных частей. Общая формула керогена $[C_{12}H_{12}ON_{0.16}S_{0.43}]$ предложена Дж. Эрдманом в 1978 [2]. При этом стоит учитывать, что кероген-это не индивидуальное соединение и не однородное по составу, свойствам, происхождению вещество, а сложная смесь полимерных органических молекул. Обобщенный элементарный состав керогена, %: углерод 76–78; водород 9,2–9,4; кислород 11–15.

1.2 Способы промышленной разработки горючих сланцев

На сегодняшний день использование горючих сланцев направлено на получение сланцевого масла и газа. Метод промышленного производства заключается в извлечении, размельчении и нагреве породы до 500 °С или выше. При такой температуре происходит пиролиз органических веществ, образуется масляный пар, который далее конденсируется, превращаясь в жидкое сланцевое масло, также сопутствующими веществами пиролиза являются горючий газ и углистый остаток на частицах отработанной породы. Углистый остаток также возможно сжигать в виде твердого топлива. Было подсчитано, что из 2000 тонн высокосортного сланца можно получить в среднем 23 тонны сланцевого масла, 40 тонн горючего газа, 30 тонн воды и 80 тонн углистого остатка [3]. Главными недостатками автотермического способа являются:

1. низкая энергоемкость (калорийность) получаемого товарного газа вследствие наличия в нем большого количества азота и диоксида углерода, возникающего в результате сжигания части органической массы в камере генератора;
2. необходимость извлечения породы из недр земли и последующая транспортировка до месторасположения газогенератора.

Одним из способов добычи сланцевого газа является гидроразрыв пласта. В 90-х годах прошлого столетия в США была освоена новая технология добычи природного сланцевого газа (ПСГ). При добыче ПСГ по новой технологии вместо множества одиноких бурят одну вертикальную скважину, от которой впоследствии пробуриваются горизонтальные скважины длиной 2-3 км. После этого в скважины под давлением закачивается раствор из песка, воды и химикатов. По средствам гидроудара происходит разрушение перегородок газовых карманов (рисунок 1) [3].

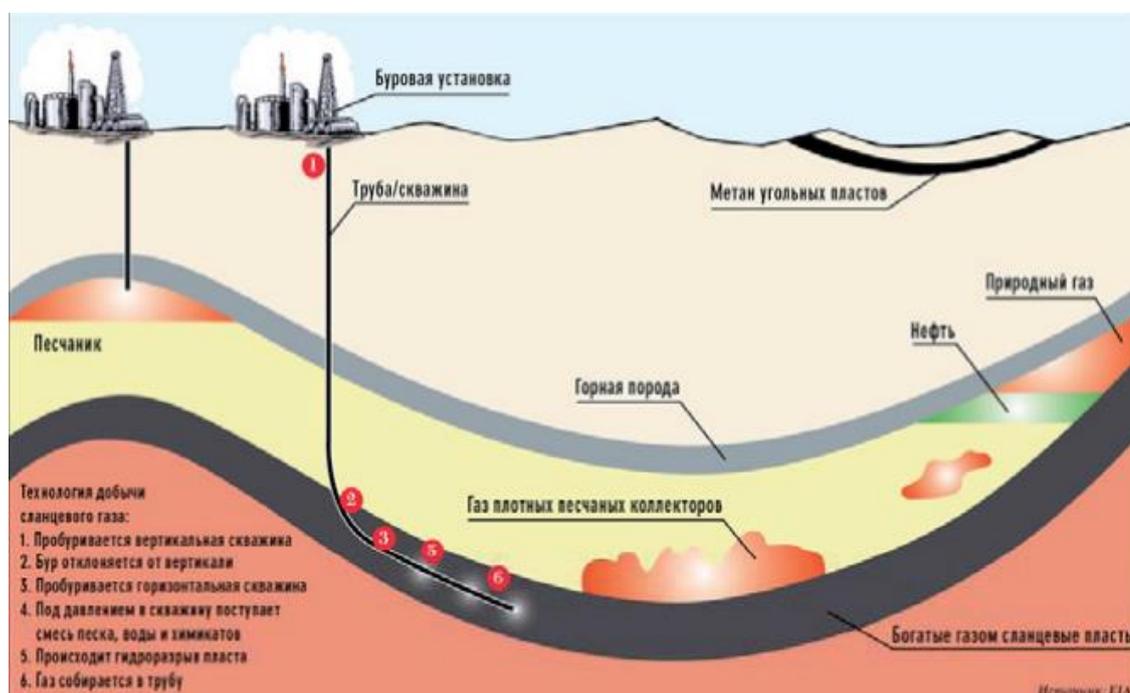


Рисунок 1 – Схема добычи ПСГ при горизонтальном бурении скважин.

Способ гидроразрыва пласта

Песок, попадая в образовавшиеся трещины, не позволяет им сомкнуться и образуется сеть микротоннелей для перемещения газа, что позволяет откачать ПСГ через вертикальную скважину. Новые технологии позволили уменьшить себестоимость газа до 80\$ за 1 куб.м. Но при всех плюсах данного способа, есть три значительных недостатка:

1. негативное влияние на экологическую обстановку. Достаточно велика угроза загрязнения подземных вод, следовательно, и почвы, при гидроразрыве, поскольку используются химические вещества. Также велика вероятность загазованности близ расположенных надземных и подземных водоемов, почвы природным сланцевым газом;

2. сейсмическая опасность. Сеть тоннелей, образованные гидроударом, под тяжестью верхних пластов земли обрушиваются, тем самым изменяя рельеф местности;

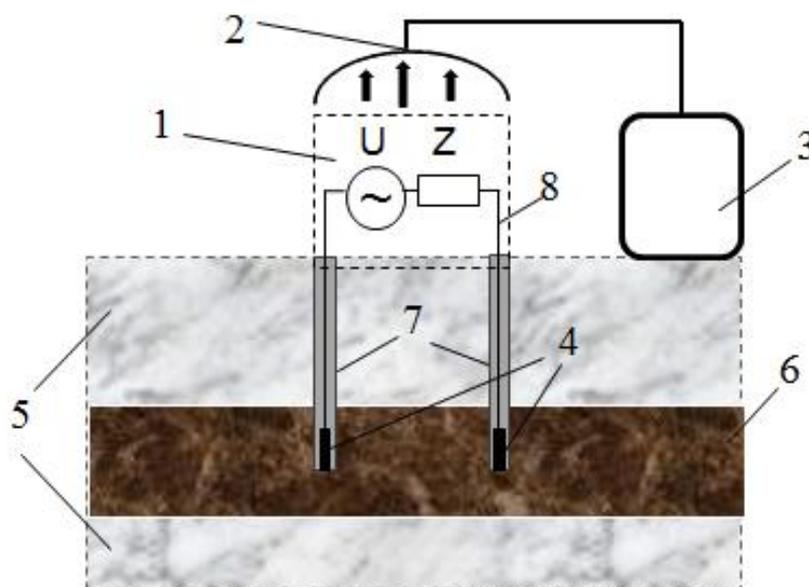
3. необходимость в большом количестве воды и песка для осуществления гидроразрыва.

Другой, разработанный компанией Shell Oil, подземный способ газификации горючих сланцев заключается в использовании электромагнитной энергии радиочастотного диапазона для подземного нагрева пласта до температуры, достаточной для пиролиза керогена и получения сланцевого масла и газа. Процесс нагрева длится в среднем 2-3 года, после чего сланцевое масло и газ могут быть извлечены и использованы. Компания Shell Oil в течении 20 лет проводила эксперименты на крупнейших месторождениях США, но коммерческого применения способа так и не последовало. Процесс экономически затратен, на нагрев потребляется значительное количество электроэнергии - все эти и многие другие недостатки говорят о низкой рентабельности способа.

В ходе разработки способа подземной газификации твердых топлив в Томском политехническом университете, г. Томск, который заключается в нагреве пласта за счет диэлектрических потерь при воздействии ВЧ поля, были обнаружены частичные разряды и последующий пробой горючих сланцев. При дальнейшем исследовании было обнаружено, что ЧР возникают и при приложении напряжения более низкой частоты (50 Гц). Данный факт позволяет использовать технологически менее сложное оборудование, снижение потерь на рассеяние, нежели при ВЧ нагреве. Газификация осуществляется за счет нагрева пласта током промышленной частоты (посредством джоулева тепла) до температуры пиролитической конверсии твердого топлива (300-500°C) (рисунок 2).

Основные преимущества данного способа:

1. простота и дешевизна оборудования
2. универсальность способа для различных месторождений
3. осуществление газификации непосредственно на месте залегания, без извлечения и транспортировки породы.
4. экологическая безопасность.



1 – наземное электрооборудование; 2,3-система отбора газа; 4– электроды; 5–смежные пласты; 6–пласт твердого топлива; 7 – скважины; 8 – соединительные кабели

Рисунок 2 – Электрофизический способ конверсии низкосортных ископаемых твердых топлив

Процесс нагрева твердых ископаемых топлив электрофизическим способом условно можно разделить на 3 основные стадии:

1. Процесс инициации частичных разрядов; к образцу прикладывается синусоидальное напряжение с частотой 50 Гц. При увеличении значения прикладываемого напряжения, происходят пробои газовых включений, данный вид электрического разряда в газе получил название частичный разряд. Последующее увеличение напряжения приводит к росту количества частичных разрядов и их интенсивности. Последовательный пробой близко расположенных включений и деструкция материала под действием ЧР приводят к развитию объемных древовидных структур в породе, называемыми дендритами. Процесс развития дендритов называется триингом.

2. Пробой возникает в результате замыкания межэлектродного пространства дендритами и сопровождается резким увеличением энерговыделения, повышением температуры и образованием плазменного канала в породе. Об-

ласть вблизи плазмы карбонируется, проводимость образующегося канала увеличивается. Процесс сопровождается локальным изменением химического и фазового состава тела.

3. Нагрев. Ток, протекающий через карбонизированный канал, осуществляет нагрев твердых топлив по средствам джоулевого тепла.

Очевидно, что инициирующим фактором нагрева являются ЧР с последующим триингом. Важно определить оптимальные условия инициации ЧР и динамики развития триинга, которые зависят от соотношения трех величин: прикладываемого напряжения, межэлектродного расстояния и времени воздействия. Рост пробивного напряжения возрастает нелинейно с увеличением расстояния, таким образом, средняя пробивная напряженность падает. Время от момента приложения напряжения до момента пробоя может быть различно и зависит от средней напряженности.

1.3 Частичные разряды. Способы регистрации и измерения частичных разрядов

Частичные разряды, ЧР (от англ. *Partial Discharge*) — электрические разряды, которые происходят в твердом диэлектрике (в частности в изоляции электрооборудования), обычно возникающие в электрических системах, работающих при напряжении от 1000 В и выше. Согласно международному стандарту IEC 60270 и ГОСТ 20074-83 частичным разрядом называется локальный электрический разряд, который шунтирует только часть изоляции в электроизоляционной системе. Частичные разряды возникают в воздушных или масляных включениях, в местах пониженной электрической прочности, в многослойных системах электродов/проводников, состоящих из нескольких слоев твердой изоляции, а также в пузырьках газа (в случае жидкой изоляции) или вокруг электродов в газе (некоторые исследователи относят коронный разряд к чр) [4].

Интенсивное изучение частичных разрядов началось с появлением высоковольтного оборудования, ориентировочно в 1930-х годах [16]. В начале своего развития величина напряжения, получаемого от высоковольтного элек-

трооборудования, была относительно мала, электроизоляционные материалы имели необходимый запас электрической прочности, необходимость устранения и изучения ЧР в изоляции отсутствовала. С началом эксплуатации электрических машин и кабелей вопрос об устранении и/или снижении интенсивности ЧР стал одним из первостепенных. В зависимости от интенсивности деструкции материала под действием ЧР, как правило, не приводят к мгновенному пробую изоляции и\или изоляционных промежутков, а требуют некоторого времени на развитие разрядной структуры. Не идеальность технологического процесса изготовления электроизоляции определяет наличие включений в любом высоковольтном оборудовании, как следствие и наличие ЧР, приводящих к деструкции материала с различной интенсивностью, в рабочих режимах. Таким образом, при малой интенсивности ЧР электроизоляционные системы оборудования могут функционировать в течение эксплуатационного ресурса, исключая аварийные ситуации. При большой интенсивности происходит деструкция изоляции, впоследствии этот процесс может привести к пробую и выводу оборудования из строя до истечения срока эксплуатации, если не принять соответствующие меры по его предупреждению.

Общепризнанно, что ЧР в изоляции образуются в результате внесения воздушных (газовых) включений или проводящих частиц при нарушении технологического процесса изготовления оборудования или при его эксплуатации.

Измерения характеристик ЧР производятся при испытании изоляции высоким переменным, постоянным или импульсным напряжениями.

Обычно эти измерения выполняются с целью:

а) установить, что в изоляции испытуемого объекта нет ЧР, измеряемые характеристики которых превышают нормированное (заданное) значение при нормированном (заданном) напряжении;

б) определить напряжение возникновения и напряжение погасания ЧР;

в) установить, что интенсивность ЧР в изоляции испытуемого объекта не изменяется во время действия, нормированного (заданного) напряжения более, чем на нормированное (заданное) значение;

г) определить интенсивность ЧР при нормированном (заданном) напряжении.

В результате измерения характеристик ЧР в готовых изделиях может быть определено качество изготовления изделия и выявлены конструктивные или технологические дефекты. Главным образом на основании испытаний образцов изоляции, можно прогнозировать срок службы и определять допустимые рабочие и испытательные напряжения.

К основным характеристикам частичных разрядов относят:

- кажущийся заряд - $q_{чр}$ единичного ЧР;
- частота следования - $n_{чр}$;
- средний ток - $I_{чр}$;
- энергия- $W_{чр}$ единичного ЧР;
- средняя мощность - $P_{чр}$;
- квадратичный параметр $D_{чр}$.

Непосредственно величину заряда единичного ЧР измерить невозможно. Для количественной оценки единичных ЧР, сопровождаемых прохождением через включение определенного заряда q , который приводит к изменению напряжения на внешних электродах всего образца, используют кажущийся заряд. Изменение напряжения на объекте объясняется фиктивным изменением заряда на электродах объекта неизменной емкости. Таким образом под кажущимся зарядом $q_{чр}$ понимают величину электрического заряда, при мгновенном введении которого между выводами испытуемого объекта возникает идентичное мгновенное изменение напряжения между его выводами, как при реальном чр. Частота следования $n_{чр}$ - общее число импульсов ЧР в единицу времени. Под средним током чр $I_{чр}$ понимают сумму абсолютных значений кажущихся зарядов за интервал времени. Квадратичный параметр $D_{чр}$ - сумма квадратов отдельных значений кажущихся зарядов q_i в течение выбранного контрольного интервала времени T , деленная на этот интервал времени.

При испытаниях изоляции непосредственно должны измеряться кажущийся заряд $q_{чр}$ и частота исследования ЧР $n_{чр}$. Средний ток $I_{чр}$ и средняя мощность $P_{чр}$ могут быть определены либо напрямую измерениями, либо расчетным путем. Энергия единичного ЧР $W_{чр}$, как правило, определяется расчетным путем. Так как ЧР имеют статистическое распределение по значению кажущегося заряда, то в ряде случаев важно отметить наибольший повторяющийся кажущийся заряд за время испытания [4].

Статистическое распределение количества ЧР в единицу времени $n_{чр}$ по величинам их зарядов $q_{чр}$ часто называют амплитудным спектром ч. р. При исследованиях ЧР, кроме указанных выше характеристик, целесообразно регистрировать амплитудный спектр сигналов, так как из таких спектров можно получить более полную информацию о характеристиках. Так, площадь амплитудного спектра равна среднему току $I_{ч.р.}$; по спектру легко определяется заряд ЧР с заданной частотой следования, что бывает необходимо для прогнозирования срока службы изоляции.

На сегодняшний день выделяют следующие методы обнаружения ЧР (таблица 1):

- электрический;
- электромагнитный, или дистанционный, СВЧ-метод;
- оптический, или оптоэлектронный;
- химический;
- акустический;
- термический.

Электрический метод является наиболее точным и чувствительным, и требует непосредственного контакта измерительных приборов с объектом измерения, что накладывает свои ограничения на его использование повсеместно. Но именно данный метод позволяет снимать наибольшее количество характеристик частичных разрядов, позволяющих комплексно изучить ЧР, в связи с чем данный метод весьма широко распространен. Так же ввиду чувствительно-

сти метода необходимо применение ряда мер и специального оборудования для минимизации влияния и\или избавления от наводимых помех. Для большинства электрических методов отсутствует необходимость в подаче на объект измерения напряжений, намного превосходящих номинальные рабочие значения, поэтому влияние, оказанное при измерении, незначительное, а методы являются щадящими для изоляции электрооборудования. На сегодняшний день на рынке представлены множество различных производителей оборудования, которые применяют данный метод, основными являются Рускабель, Димрус, HVPD, SebaКМТ и др.

В промышленности преимущественно используется:

- электромагнитный, или дистанционный. СВЧ-метод позволяет обнаружить ЧР с помощью направленного антенного приемного СВЧ устройства. Этот метод не требует контакта с объектом измерения. Одним из главных достоинств метода является то, что применение данного оборудования не зависит от класса напряжения. Недостатками же является ограниченность в измерении некоторых характеристик ЧР, а также чувствителен к электромагнитному излучению других приборов.
- акустический метод регистрации ЧР был разработан с целью обнаружения источника ЧР в таком электрооборудовании, как, например, в измерительных и силовых трансформаторах, электрогазовом оборудовании. Кажущаяся простота метода не исключает больших трудностей в определении места возникновения ЧР. Для обнаружения места возникновения применяются сверхчувствительные микрофоны, которые улавливают звуковые волны, расположенные выше диапазона частот порога слышимости человека. Данный метод является дистанционным и позволяет располагать датчики и сенсоры в устройствах открытой конструкции, например ячейках КРУ и шинпроводах. Недостатком метода является малая чувствительность при регистрации ЧР малой интенсивности и зависимость от акустического шума.

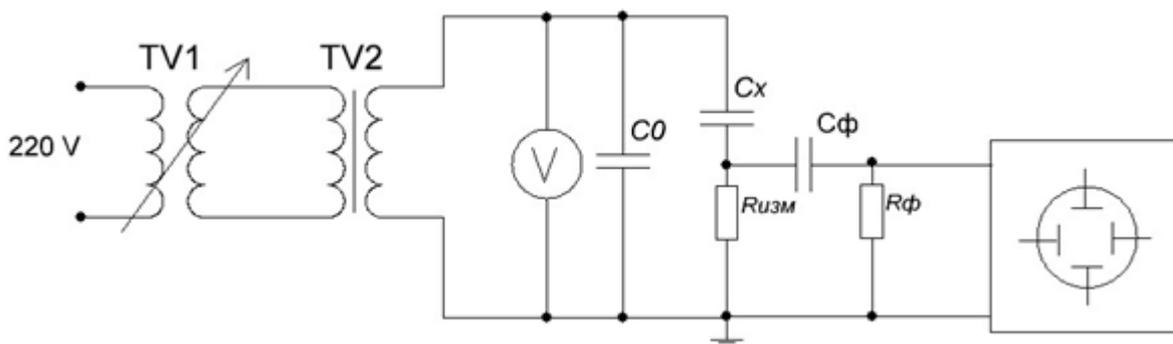
Таблица 1– Методы измерения частичных разрядов

	Электрический метод	Оптический метод	Электромагнитный метод	Акустический метод
Описание	Электрическая схема, позволяющая регистрировать импульсы тока или напряжения ЧР	Измерение светового излучения от ЧР	Измерение радиочастотных сигналов, генерируемых ЧР	Измерение уровня звука, генерируемого ЧР
Достоинства	Высокая чувствительность; применим для любого вида диэлектрического материала	Бесконтактный, применим для всех типов напряжений; позволяет тестировать оборудование в режиме реального времени		
Недостатки	Чувствителен к электрическим помехам;	Малый уровень чувствительности; Применим только для прозрачных материалов, чувствителен к свету.	Чувствителен к электромагнитным помехам	Чувствителен к акустическому шуму. Малый уровень чувствительности.

2 Модуль для измерения характеристик ЧР в низкосортных твердых топливах

Измерение частичных разрядов является одним из самых важных методов неразрушающего контроля для обнаружения дефектов в изоляции электроэнергетического оборудования. В местах пониженной электрической прочности, в которых была зарегистрирована повышенная активность (интенсивность) ЧР, инициируется триинг, приводящий к пробое диэлектрика. Запасенная энергия ЧР преобразуется в тепло, излучение, механическую энергию, а также часть энергии приходится на химические реакции, в совокупности данные факторы приводят к деструкции материала. В случае изоляционных материалов, как уже упоминалось выше, это приводит к ускоренному процессу старения, напряжение пробоя уменьшается, вероятность пробоя увеличивается, что может привести к выходу из строя электрооборудования. В электрофизическом способе воздействие ЧР является инициирующим фактором нагрева, который позволяет производить конверсию низкосортных твердых топлив.

Схема установки для измерения частичных разрядов в низкосортных твердых топливах представлена на Рисунке 3.



TV1-трансформатор типа РОТМ; TV2-трансформатор высоковольтный; Cx-образец; C0- соединительный конденсатор; Rизм- измерительное сопротивление; Cф– конденсатор ФВЧ; Rф- резистор ФВЧ.

Рисунок 3 – Схема установки для измерения ЧР

2.1 Методика и оборудование

Для измерения характеристик частичных разрядов в горючих сланцах использовалось следующее оборудование:

- трансформатор типа РОТМ 100/03 УА с переменной магнитной связью для внутренней установки с рабочей частотой 50 Гц, число фаз – 1. Естественное масляное охлаждение. Трансформатор, предназначен для плавного регулирования вторичного напряжения под нагрузкой. Номинальная мощность $P=100$ кВА. Максимальное напряжение вторичной обмотки $U_2=380$ В. Максимальный ток вторичной обмотки $I_{2\max}=264$ А;

- однофазный двухканальный трансформатор имеет масляный тип охлаждения. Режим работы непрерывный. Рабочая частота 50 Гц. Габаритная мощность $P=3$ кВА;

- соединительный конденсатор:

- сборка из конденсаторов КВИ-3 на 16 кВ. $C=220\pm 20\%$ пФ;
- сборка из конденсаторов КВИ-3 на 10 кВ. $C=3300\pm 20\%$ пФ;
- сборка из конденсаторов К15-5 на 6,3 кВ. $C=2200\pm 20\%$ пФ;

- в качестве шунтирующего и измерительного резистора используется SMD типоразмера 2512 номиналом $R=150$ Ом;

- измерительный кабель РК 150-7-31 (Таблица 2, Таблица 3); Коаксиальный кабель РК 150-7-31 был выбран из следующих соображений: каждый коаксиальный кабель, используемый для измерений, следует согласовывать с обоих концов во избежание протекания волновых процессов, величина согласующего резистора R_c должна быть равна волновому сопротивлению кабеля Z . При этом результирующее активное сопротивление системы, состоящей из кабеля и двух согласующих резисторов, будет равным $R_{\text{общ}}=R_c/2$, следовательно, кабель с большим волновым сопротивлением позволит регистрировать более низкоамплитудные сигналы. Подробнее волновые процессы в измерительном кабеле будут рассмотрены ниже.

- Осциллограф Agilent Technologies DSOX2014A . Полоса пропускания 100 МГц. Максимальная частота дискретизации 2 Гвыб/с. Операционная система встроенная;

Таблица 2 – Параметры кабеля РК 150-7-31

Число и диаметр проволок внутреннего проводника, мм	1x0,37
1. Внутренний проводник	Проволока сталемедная луженая гофрированная
2. Изоляция	Полувоздушная: полиэтилен низкой плотности
3. Внешний проводник	Оплетка из проволоки медной
4. Оболочка	Светостабилизированный полиэтилен низкой плотности

Таблица 3 – Характеристики кабеля РК 150-7-31

Волновое сопротивление, Ом	150±10
Минимальная рабочая температура, °С	-60
Максимальная рабочая температура, °С	+85
Коэффициент затухания, не более, дБ/м, на частоте 0,045 ГГц	0,08
Коэффициент затухания, не более, дБ/м, на частоте 3 ГГц	1.2
Наружный диаметр кабеля, мм	10,0±0.3
Масса кабеля, кг/км	87,3
ГОСТ \ ТУ	ТУ 16-505.543-82

- пассивный RC-фильтр верхних частот, состоящий из чип конденсатора типоразмера 1206, $C=2700\pm 5$ % пФ, чип резистор типоразмера 1206, $R=10^3\pm 5$ % Ом. Частота среза $f_{cp}= 5,9$ кГц. Коэффициент передачи при $f=50$ Гц равен $K=0,0085$, при $f=0,9\cdot 10^6$ Гц – $K=0,9(9)$.

Методика измерения характеристик частичных разрядов в низкосортных твердых топливах: с помощью трансформатора типа РОТМ осуществляется регулировка напряжения прикладываемого к первичной обмотке двухканального повышающего трансформатора с максимальным напряжением на выходе $U=10$ кВ. Вторичная обмотка повышающего трансформатора через высоковольтный вакуумный контактор подключается к токопроводящим стержням проходных

изоляторов герметичной камеры, при этом заземленный контакт подключается через измерительное шунтирующее сопротивление. Электроды, размещенные в образце, подключаются к стержням изоляторов через гибкую электрическую шину круглого сечения. Объем герметичной камеры составляет $V=60$ л.

Уровень прикладываемого напряжения увеличивают до значения $U_{\text{раб}}$, которое несколько выше напряжения возникновения ЧР. Рабочее напряжение выбирается из следующих соображений, при недостаточной величине напряжения возникновение ЧР также возможно, но существование разрядов не устойчивое, что не позволит провести полноценные измерения характеристик. С другой стороны, величина напряжения не должна превышать напряжение пробоя образца $U_{\text{проб}}$. В процессе измерений необходимо также следить за неотфильтрованным сигналом, увеличение амплитуды синусоидального измеренного сигнала при неизменном рабочем напряжении, свидетельствует о том, что образец находится в предпробойном состоянии. Проведение измерений в таких условиях ЗАПРЕЩЕНО! Для исключения влияния помех испытания и пусконаладочные работы модуля следует производить по сигналу, превышающему 10 мВ. Такой режим достигается при $U_{\text{раб}}=1300$ В.

Существует множество различных методик измерения ЧР в изоляции электрооборудования, но все они нацелены на определение величины и месторасположения ЧР, и последующим сравнением полученных данных с уровнем номинально заявленных ЧР, либо сопоставлением с данными предыдущей проверки для определения степени старения материала. Стоит заметить, что наиболее важными параметрами для измерения является максимальная повторяющаяся амплитуда ЧР и их количество, нежели форма сигнала и наличие “первоначальных” ЧР, которые дают представление о физике процесса, условиях возникновения и развития ЧР.

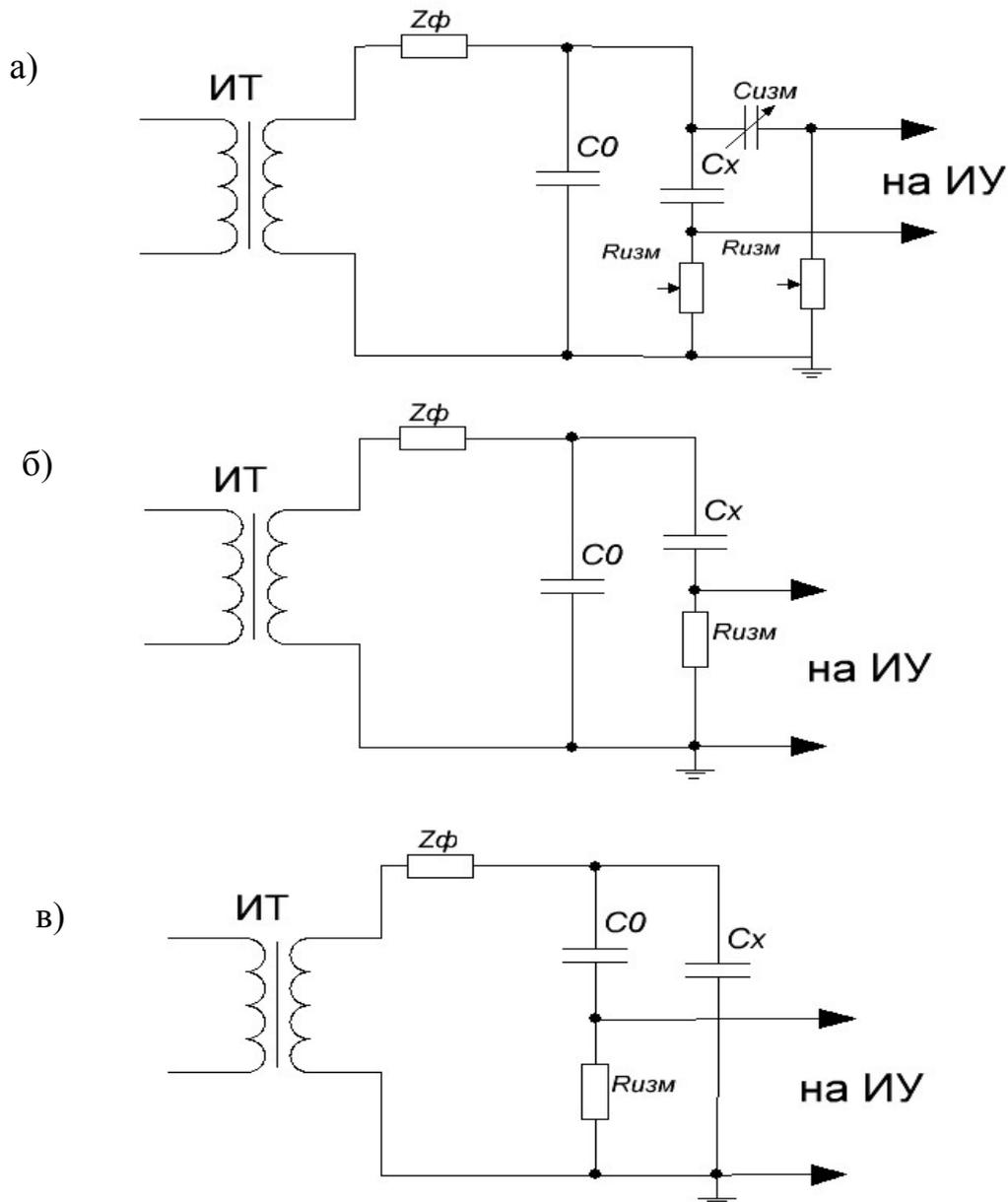
В ходе нашего исследования проводилась регистрация и измерение характеристик как “первоначальных” так и “критических” ЧР электрическим методом. (Под “критическими” понимаются частичные разряды, при которых ве-

роятность пробоя велика, напряжение, прикладываемое к образцу близко к напряжению пробоя.)

Существует три принципиальные электрические измерительные схемы частичных разрядов: мостовая схема измерения (рисунок 4а), схема с включением измерительного элемента в ветвь заземления испытуемого объекта (рисунок 4б) (токовая схема измерения) и схема с включением измерительного элемента в ветвь заземления соединительного конденсатора (рисунок 4в) (схема измерения напряжения).

При соответствующем выборе параметров схем их чувствительности одинаковы. Наиболее помехозащищенной схемой является мостовая. Она позволяет избавиться от большинства видов помех, кроме помех, возникающих в контуре заземления. Например, внешний источник помех – коронный разряд обладает, как правило, емкостью на землю, то ток помехи замыкаясь на землю создает встречное падение напряжения на элементах измерительного сопротивления $R_{изм}$, включенных последовательно с емкостями C_x и C_0 . При правильном подборе элементов напряжение помехи на выходе измерительного устройства будет близко к нулю и не будет влиять на измеряемый сигнал. Главными недостатками мостовой схемы измерения являются: процесс ее калибровки, элементная база переменных мало индуктивных резисторов и конденсаторов. В токовой схеме данные элементы отсутствуют. Она проще в исполнении, но имеет большую чувствительность к внутренним и внешним помехам, что значительно усложняет процесс калибровки измерительного модуля и выделение основного полезного сигнала ЧР. Схема измерения напряжения равным образом чувствительна к помехам. Использование данной схемы более безопасно, так как в случае пробоя образца к измерительной цепи не прикладывается высокое напряжение и не протекает большой ток. Однако, рассмотрение схемы в качестве фильтра верхних частот с использованием согласованного измерительного кабеля и низким коэффициентом искажения измеряемого сигнала при достаточном затухании его низкочастотной составляющей, приводит к дополнительной нагрузке источника питания, выделению большой мощности на её

элементах, исходя из этого возникают сложности в соблюдении соотношения компактности и функциональности элементов цепи.



ИТ-трансформатор испытательный; ИУ- измерительное устройство; Сх- образец; С0- соединительный конденсатор; Rизм- измерительное сопротивление; Сизм- конденсатор переменной емкости; Zφ– фильтр для подавления внешних помех.

Рисунок 4 – Схемы установок для измерения характеристик ЧР

а) – мостовая схема измерения; б) – «токовая» схема измерения; в – схема измерения напряжения;

3 Проблемы при измерении характеристик ЧР. Пути их решения

В ходе выполненной работы был разработан модуль для измерения характеристик частичных разрядов в низкосортных твердых топливах на основе токовой схемы измерения. Рассмотрим проблемы, с которыми мы столкнулись в процессе измерения.

Главными проблемами, с которыми мы столкнулись в ходе измерений сигналов ЧР в горючих сланцах, являются:

1. низкий уровень полезного сигнала (первоначальных) ЧР;
2. спектр широкополосных электромагнитных помех кратен спектру основного сигнала;
3. уровень электромагнитных помех соизмерим с величиной полезного сигнала (первоначальных) ЧР:
 - a) радиочастотные помехи и помехи, индуцированные источниками питания, распространяющиеся по воздуху;
 - b) волновые процессы в измерительном кабеле;
 - c) паразитные параметры элементов измерительной цепи;
 - d) уравнивающие токи в цепи заземления.

На первые два пункта повлиять практически образом не получится, в то время как уровень электромагнитных помех можно минимизировать. Рассмотрим подробнее 3 пункт электромагнитные помехи:

a) Радиочастотные помехи и помехи, индуцированные источниками питания, распространяющиеся по воздуху. Источниками электромагнитных помех (ЭМП) являются высоковольтный трансформатор и трансформатор типа РОТМ, токоведущие элементы установки. Одним из источников радиочастотных помех является коронный разряд, возникающий на токопроводящих элементах установки. На величину радиопомех от коронного разряда влияет:

- 1) состояние поверхности токопроводящего элемента;
- 2) радиус закругления кромок детали;

3) погодные условия, степень загрязненности атмосферы, в лабораторных условиях микроклимат рабочей зоны.

Таким образом, для уменьшения коронирования были проделаны работы по обработке, шлифованию, очистке поверхности токопроводящих шин. Удалось существенно сократить часть помех, вызванных коронами разрядами, но общий уровень помех сохранил свою амплитуду, соизмеримую с амплитудой «первоначальных» ЧР.

Наиболее эффективным способом избавления и\или уменьшения уровня ЭМП помех распространяющихся по воздуху является электромагнитное экранирование. Экранированием называется локализация электромагнитного поля в определенном пространстве путем ограничения его распространения всеми возможными способами.

Для уменьшения помех распространяющихся по воздуху был рассчитан и сконструирован электромагнитный (ЭМ) экран. Эффективность экранирования электромагнитных полей зависит от магнитной проницаемости экрана и его толщины, а также от наличия стыков и швов, расположенных перпендикулярно силовым линиям электромагнитных полей.

В основе электромагнитного экранирования лежат следующие основные факторы (рисунок 5):

- 1) падающая волна частично отражается от стенки экрана;
- 2) часть падающей электромагнитной волны, которая проникает за стенку экрана, будет ослабляться в стенке экрана;
- 3) часть падающей волны будет ослабляться вследствие многократного отражения сигнала внутри стенки экрана.

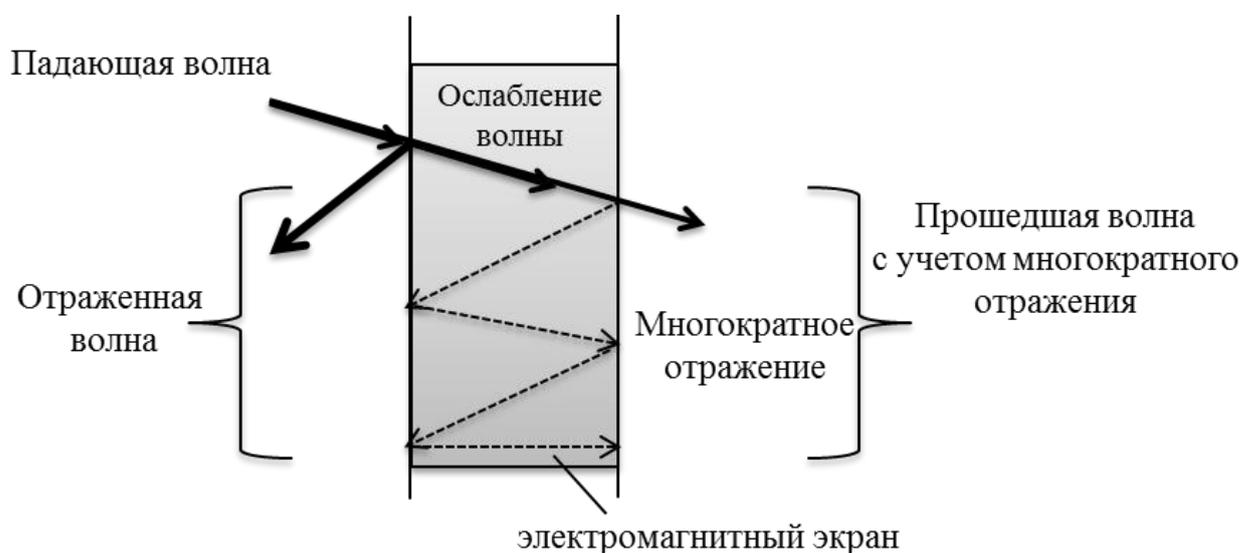


Рисунок 5 – Принципы электромагнитного экранирования – схема прохождения электромагнитной волны через стенку ЭМ экрана

Количественная оценка эффективности экрана выражается формулой:

$$A = A_{\text{отр}} + A_{\text{погл}} + A_{\text{м.отр}} \quad (1)$$

где $A_{\text{отр}}$ -эффективность экранирования вследствие поглощения экраном электромагнитной энергии:

$$A_{\text{погл}} = 6,16d\sqrt{\omega\mu\sigma}; \quad (2)$$

$A_{\text{погл}}$ -эффективность экранирования за счет отражения электромагнитной волны экраном:

$$A_{\text{отр}} = 20\lg(94,25\sqrt{\sigma/\sqrt{\omega\mu\mu_0}}); \quad (3)$$

$A_{\text{м.отр}}$ -поправочный коэффициент, учитывающий многократные внутренние переотражения волны от поверхностей экрана:

$$A_{\text{м.отр}} = 20\lg(1 - \exp(-\frac{2d}{\delta})) \quad (4)$$

где σ – проводимость материала;

μ – магнитная проницаемость материала;

d – толщина стенки экрана, мм;

δ – глубина скин слоя, мм.

Рассчитаем эффективность экранирования для стали и меди при различной толщине (рисунок6):

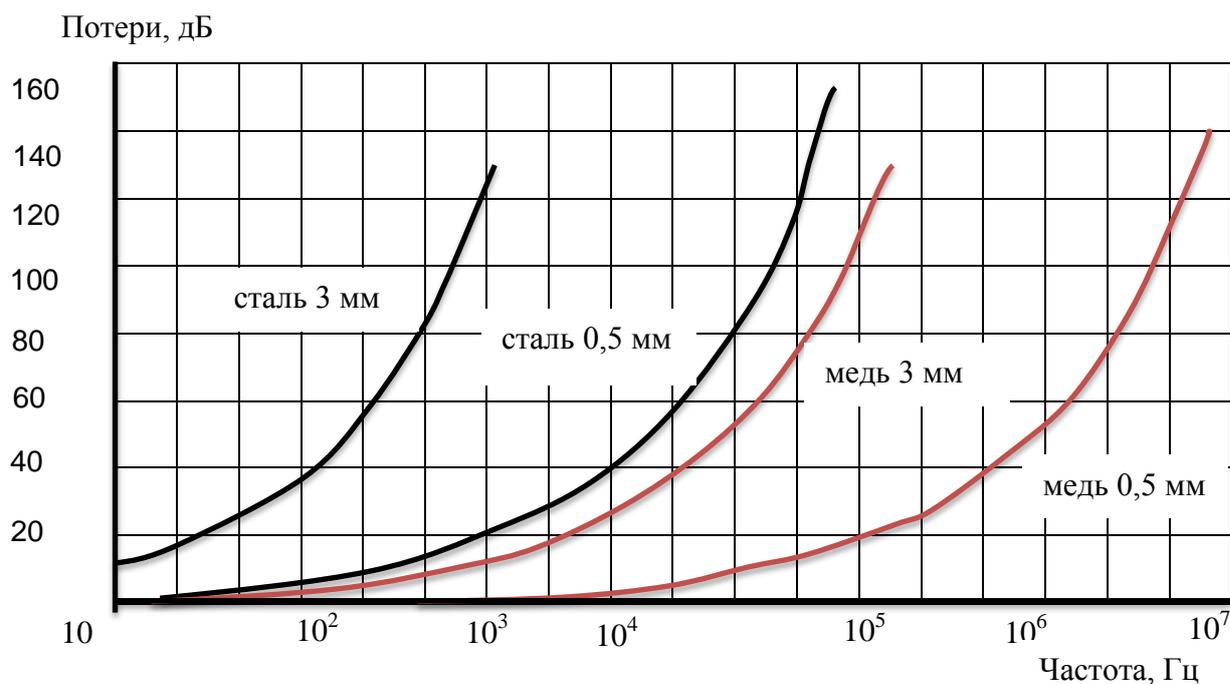


Рисунок 6 – График зависимости потерь поглощения от частоты для меди и стали при различной толщине

Из графика можно сделать вывод, что экран из стали обладает лучшими экранирующими свойствами для низкочастотных помех, а экран из меди для высокочастотных.

Также при проектировании электромагнитного экрана следует учесть следующее:

- отверстия должны быть квадратной или шестиугольной формы;
- смотровые окна должны быть прикрыты металлической сеткой;
- расположение швов на корпусе параллельно плате устройства;
- необходимо использовать проводящие прокладки между точками крепления различных деталей;
- в случае нанесения покрытия применять проводящую краску (проводящее покрытие).

Приняв во внимание вышеуказанные факты, был сконструирован двухслойный электромагнитный экран (сталь 3 мм и медь 3 мм) цилиндрической

формы (рисунок 7) для наибольшей эффективности экранирования. Цилиндрическая форма ЭМ экрана была выбрана с целью минимизация стыковых соединений и упрощения изготовления.



$d_1=106$ мм- внешний диаметр стального цилиндра;

$l= 160$ мм-длина цилиндра

Рисунок 7 – Электромагнитный экран.

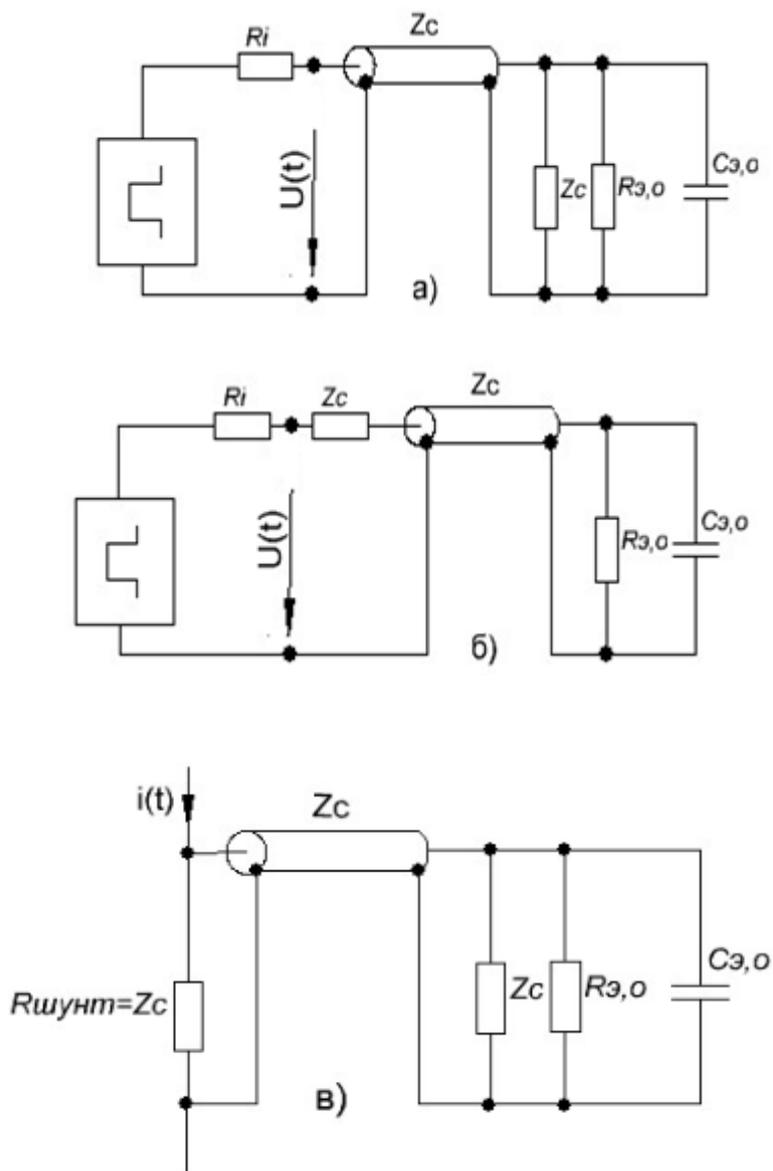
Измерительный коаксиальный кабель так же был заэкранирован. Соединив экран с медной оплеткой кабеля, мы уменьшили падение напряжения на внутренней поверхности оболочки кабеля, индуцируемое протекающим током помехи по оболочке кабеля от внешнего источника напряжения. Падение напряжения на внутренней поверхности оболочки проявляется в виде напряжения помехи в жиле кабеля.

б) Волновые процессы в измерительном кабеле. Согласно теории о волновых процессах в кабелях при соотношении длины волны сигнала λ и длины кабеля l ($\lambda > l$) явлений отражения и наложения сигналов не должно быть, но из-за широкого спектра сигнала ЧР некоторые гармоники всё же переотражаются и искажают основной сигнал. С целью устранения волновых процессов было произведено согласование измерительного кабеля.

Существует три схемы согласования измерительных кабелей:

1) согласование на конце кабеля (рисунок 8а);

- 2) согласование в начале кабеля (рисунок 8б);
- 3) согласование в конце и в начале кабеля(рисунок 8в);



R_i - внутреннее сопротивление источника, Z_c -волновое сопротивление,
 $R_{э,о}$ и $C_{э,о}$ - входные сопротивление и емкость осциллографа.

а-согласование на конце кабеля; б - согласование в начале кабеля;

в – согласование на конце и в начале кабеля;

Рисунок 8 – Схемы соединения источника импульсного напряжения с осциллографом через длинный кабель

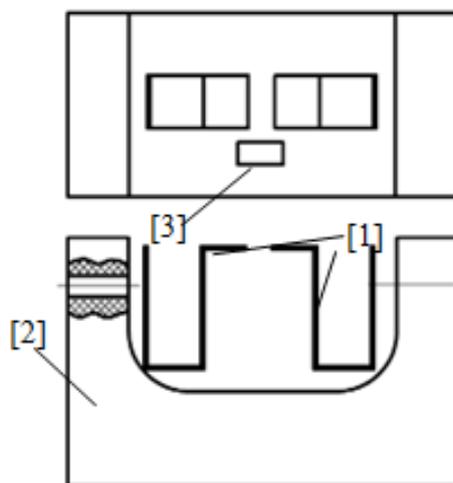
Наиболее эффективной является схема согласование в конце и в начале кабеля. Полностью от переотраженного сигнала избавиться не получилось, это

объясняется допустимой погрешностью величины волнового сопротивления кабеля и номинального сопротивления применяемых резисторов в качестве согласующих.

с) Паразитные емкость и индуктивность элементов измерительной цепи.

Начальное сопротивление образца $R_{обр}=(10^{12}-10^{14})$ Ом, величина шунтирующего резистора $R_{изм}=150$ Ом, данная величина резистора не вносит искажений в основную цепь ($R_{обр}\gg R_{изм}$) и позволяет использовать его в качестве согласующего сопротивления для измерительного кабеля. Общее сопротивление измерительного элемента «шунтирующий резистор-кабель-согласующий резистор» равно $R_{общ}=75$ Ом (рисунок 8в). Также шунтирующий резистор должен иметь малую собственную индуктивность и паразитную емкость. Исходя из требований, был выбран чип резистор (SMD) типоразмера 2512. Главным преимуществом SMD являются габариты и способ их изготовления путем нанесения на подложку плёнки из резистивного материала соответствующей толщины, как следствие меньшие значения паразитных параметров, что повышает качество передачи низкоамплитудных высокочастотных сигналов. Но с использованием SMD появилась проблема его крепежа в качестве шунтирующего резистора. Для этого был разработан специализированный крепеж под SMD в нескольких исполнениях.

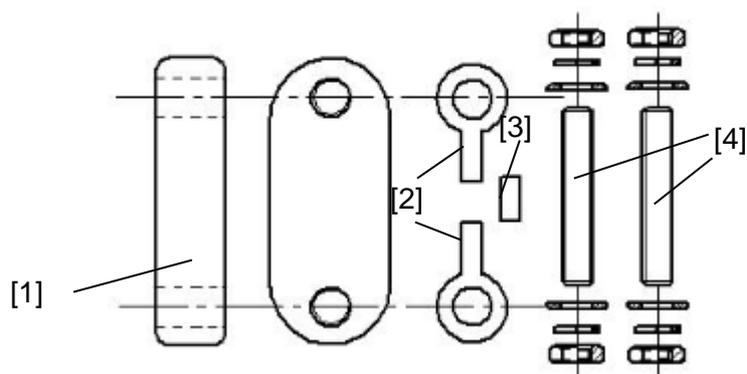
Исполнение 1. Корпус был выполнен из органического стекла с двумя медными контактными площадками прямоугольного сечения, на которые напаяется чип резистор (рисунок 10). Корпус обеспечивает механическую прочность и позволяет сделать подключение «электрод-шунтирующее сопротивление - земля». Недостатком данной конструкции является относительная большая паразитная емкость между медными пластинами, между пластинами и землей, так же пластины обладают собственной индуктивностью, которая влияет на форму измеряемого сигнала.



1-токопроводящие медные пластинки; 2-диэлектрический корпус; 3- чип резистор

Рисунок 9 – Крепеж под шунтирующий резистор (Исполнение 1)

Исполнение 2. Корпус во втором исполнении, так же как и в первом, выполнен из органического стекла, но другой формы. С учетом предыдущего опыта конструирования была изменена конфигурация контактных площадок, уменьшены размеры (рисунок 11). Влияние паразитных элементов минимизировано. Также путем уменьшения габаритных размеров крепежа была сведена к минимуму способность принимать электромагнитные помехи.



1-диэлектрический корпус; 2-токопроводящие медные пластинки; 3- чип резистор; 4- система крепления «электрод - шунт- земля»

Рисунок 10 – Крепеж под шунтирующий резистор (Исполнение 2)

Кроме того, конструкция камеры подразумевает наличие паразитных параметров, которые негативно влияют на измерения. К ним относятся емко-

сти: между электродами, подводящими шинами, проходными изоляторами, а также емкость данной системы, в особенности проходных изоляторов, на камеру; и индуктивности: электродов, подводящих шин, токоведущих стержней проходных изоляторов.

3 Результаты работы

Применив меры по минимизации электромагнитных помех, были получены осциллограммы сигнала ЧР. Условия проведения эксперимента:

- $l=100$ мм межэлектродное расстояние;
- $h=150$ мм длина электрода;
- $d=12$ мм диаметр электродов;
- $U=1,3$ кВ прикладываемое напряжение.

1) Волновые процессы в длинном ($l=5$ м) и коротком кабеле ($l=1$ м) в зависимости от согласования. Красной рамкой выделен наложенный переотраженный сигнал.

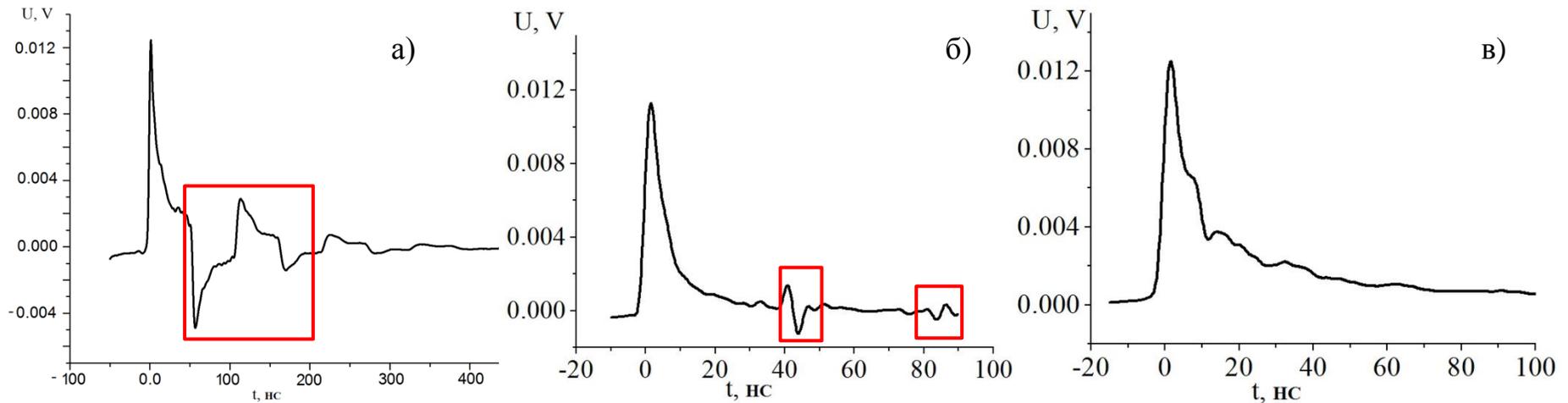
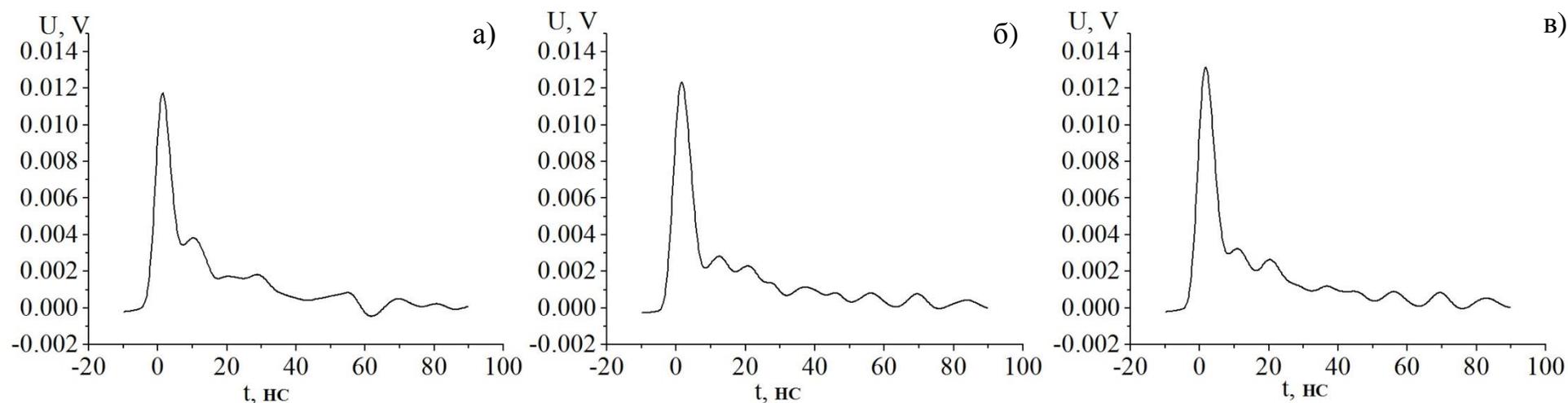


Рисунок 11– Осциллограммы сигнала ЧР: а) согласование длинного кабеля в начале; б) согласование длинного кабеля в начале и в конце; в) согласование короткого кабеля в начале и конце;

Согласно рисунку 11 согласование кабеля только в начале неприменимо для измерения ЧР в горючих сланцах. Наличие переотраженного наложенного сигнала в кабеле согласованного на обоих концах, как упоминалось выше, объясняется допустимой погрешностью величины волнового сопротивления кабеля и номинального сопротивления применяемых резисторов в качестве согласующих. В коротком кабеле переотраженный сигнал отсутствует.

2) Величина соединительного конденсатора влияет на измеряемый сигнал в длинном кабеле (Рисунок 12)



а) последовательно соединенные конденсаторы КВИ-3, суммарная емкость $C=32$ пФ б) последовательно соединенные конденсаторы К15-5, суммарная емкость $C=355$ пФ;;в) последовательно соединенные конденсаторы КВИ-3, суммарная емкость $C=914$ пФ;

Рисунок 12 – Осциллограммы сигнала ЧР

3) Влияние экрана длинного кабеля на измеряемый сигнал (Рисунок 11)

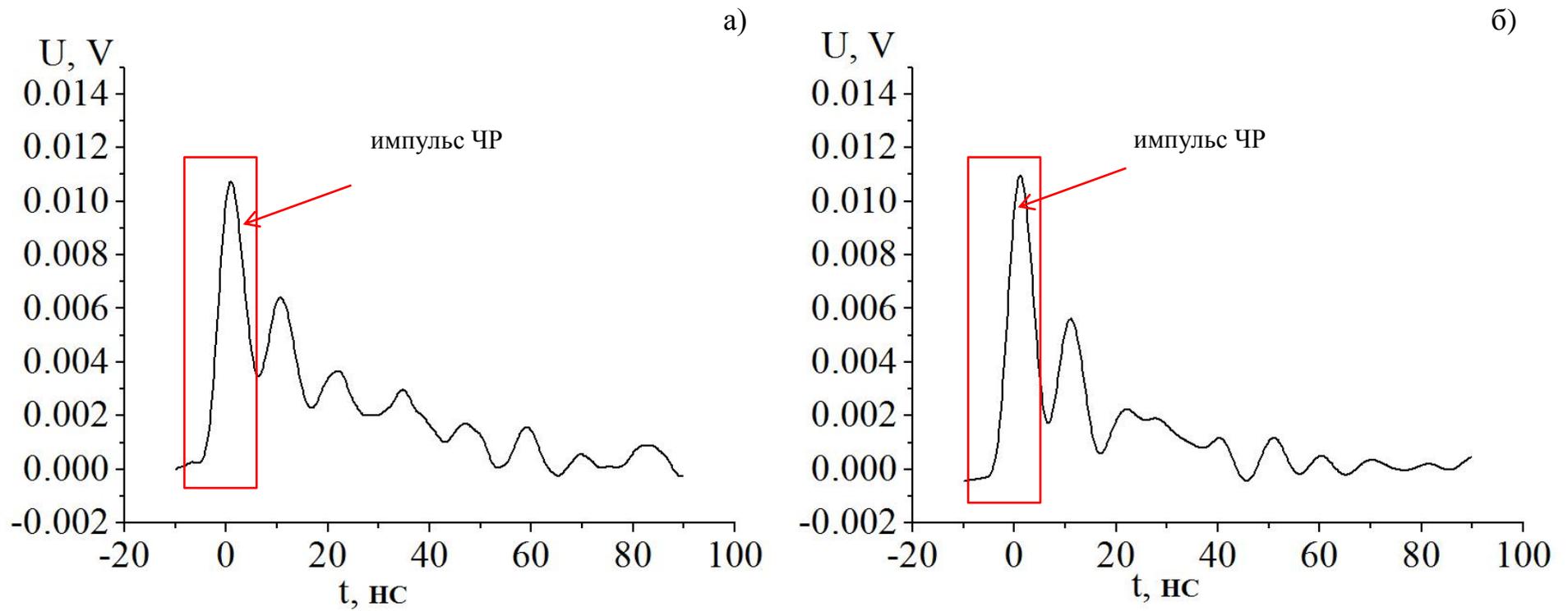


Рисунок 13 – Осциллограммы сигнала ЧР: а) кабель с экраном б) кабель без экрана

Судя по форме сигнала рисунок 13а, на основной сигнал чр наложен явно выраженный гармонический сигнал, для выделения основного необходимо вычесть этот сигнал и мы получим импульс ЧР. В другом же случае процесс выделения полезного сигнала затруднителен.

4) Влияние паразитных параметров на измеряемый сигнал в длинном кабеле (Рисунок 14):

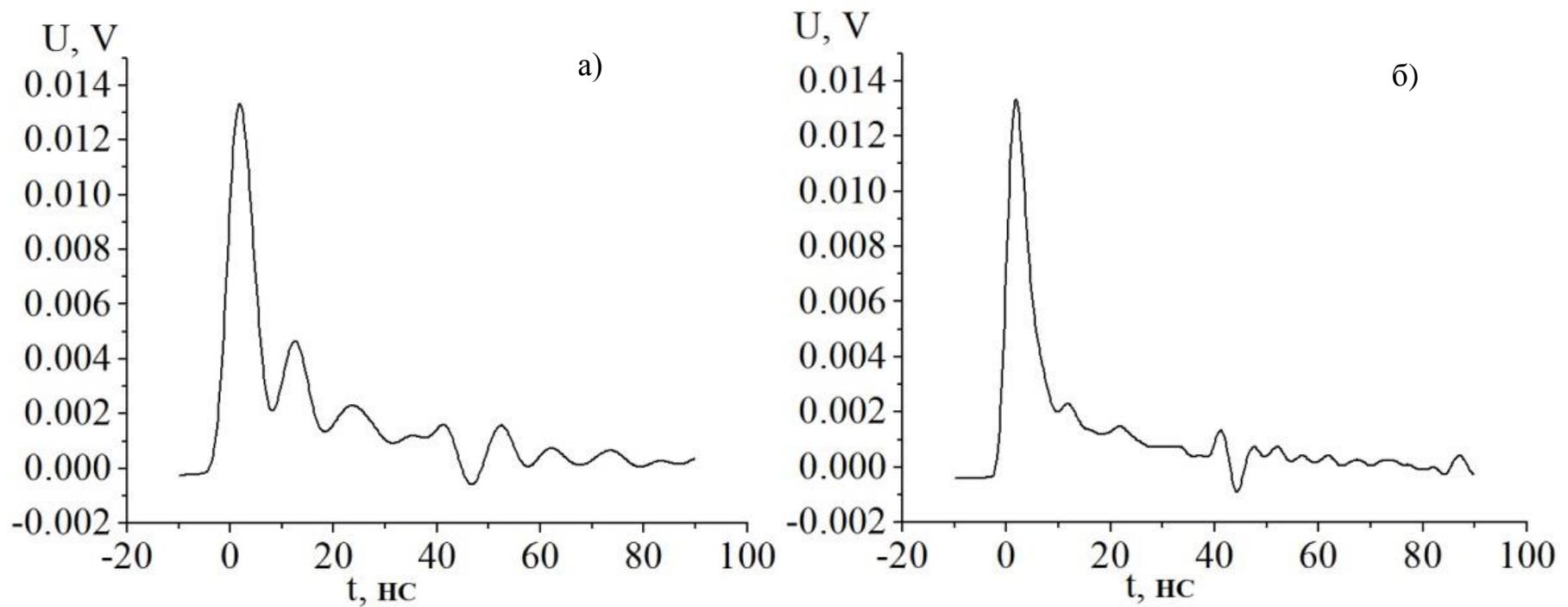


Рисунок 14 – Осциллограммы сигнала ЧР в длинном кабеле:

а) с паразитными параметрами; б) без паразитных параметров.

Паразитные параметры схемы, в данном случае индуктивность подводящих шин, искажают форму полезного сигнала. Для минимизации паразитных параметров следует использовать либо шины меньшей длины и большего сечения, либо подключать шунтирующий резистор непосредственно к электродам.

5) Влияние паразитных параметров на измеряемый сигнал в коротком кабеле (Рисунок 15):

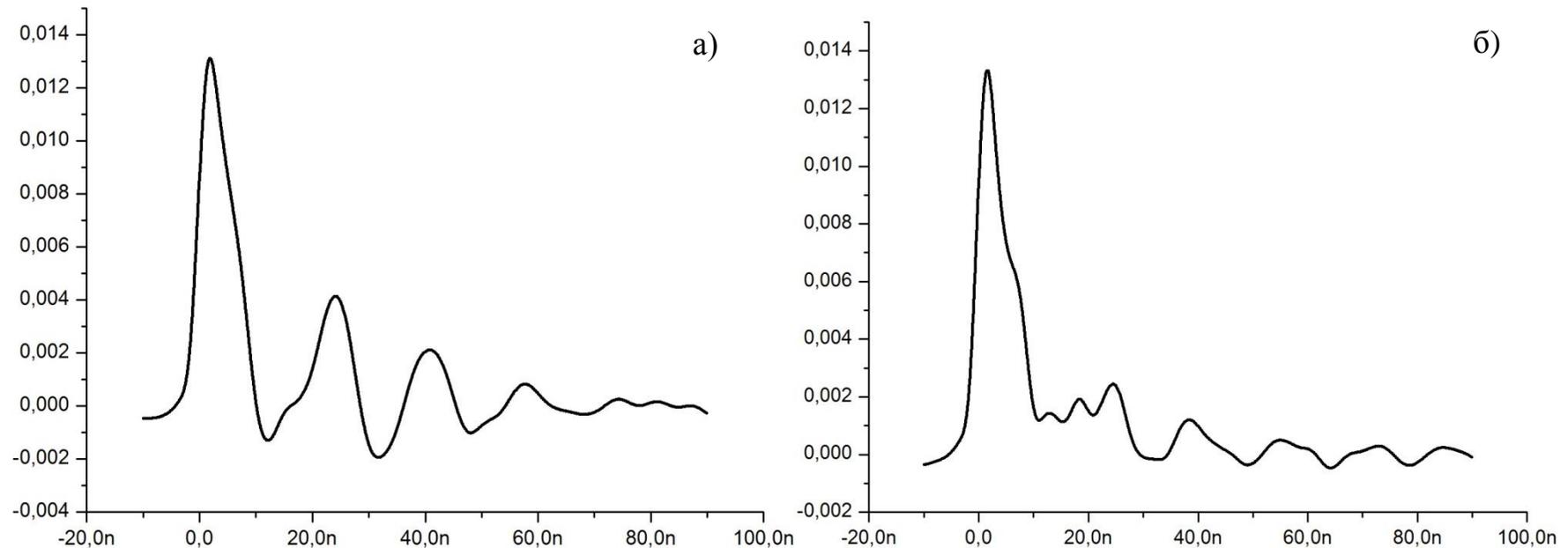


Рисунок 15 – Осциллограммы сигнала ЧР в коротком: а) с паразитными параметрами; б) без паразитных параметров

Согласно рисунку 15а, влияние паразитных параметров элементов схемы при измерении сигнала электрически коротким кабелем также значительно, как и в случае применения длинного.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Важнейшей тенденцией на рынке газа, наблюдавшейся в последние 5-10 лет, является рост объемов газа, добытого из альтернативных источников, в первую очередь, из сланца и бурых углей. Запасы горючих сланцев огромны и по некоторым оценкам превышают запасы всех остальных ископаемых топлив, вместе взятых. Однако вследствие высокого содержания минеральной части в объеме породы (высокой зольности) они нерентабельны для шахтной и часто даже карьерной добычи. Большое количество отходов переработки сланцев создает также экологическую проблему, связанную с утилизацией шлака.

Переработка горючих сланцев в горючий газ непосредственно на месте залегания пласта способна решить эти проблемы. По этой причине электрофизический способ подземной газификации твердых топлив, разработанный в Томском политехническом университете, г. Томск, является перспективным направлением.

Одним из этапов вывода на рынок установки по добыче сланцевого газа и нефти электрофизическим способом является определение условий возникновения и инициации частичных разрядов, которые являются иницирующим фактором нагрева пласта при электрофизическом способе газификации.

Проект посвящен разработке модуля для измерения частичных разрядов в низкосортных твердых топливах.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации. Достижение цели обеспечивается решением задач:

- анализ глобального газового рынка;
- оценка конкурентоспособности электрофизического способа подземной конверсии горючих сланцев;
- планирование работ по НИ проекту;

- расчет бюджета проекта.
- определение ресурсной и бюджетной эффективности проекта

4.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта

4.1.1 Анализ потенциального рынка и потребителей

Фактическими потребителями результатов этого проекта являются предприятия нефтегазовой промышленности. Частичные разряды являются иницирующим фактором нагрева низкосортных твердых топлив. Измерение характеристик ЧР позволит определить начальные оптимальные условия проведения конверсии, что даст начало развитию новому способу получения альтернативного обычному газу источника энергии.

В последние годы структура глобального газового рынка стремительно меняется. Из сегментированного на региональные кластеры рынка, он постепенно превращается в глобальный. Эти изменения связаны, в первую очередь, с возрастающей ролью глобального рынка сжиженного природного газа (СПГ) по сравнению с региональными рынками трубопроводного газа. Основные производители СПГ это - Катар, Индонезия, Малайзия, Австралия и Нигерия. В 2010 году торговля СПГ составила 30% мирового рынка газа. Рост торговли СПГ за 2010 год составил 22,6%, опередив темпы роста всей мировой торговли газом (10,1%). Большие объемы поставок по трубопроводам это, прежде всего - пары Россия-Европа, США-Канада и Алжир-Франция. В 2010 году поставки по трубопроводам выросли на 5,4%, в основном, благодаря росту российских поставок.

На рисунке 16 показано распределение производства и потребления газа в странах мира в 2011 году. Как видно и рисунка, потребление газа на душу населения имеет максимальное значение у России и США, баланс производства также сдвинут в сторону России, Северной Америки и Великобритании.

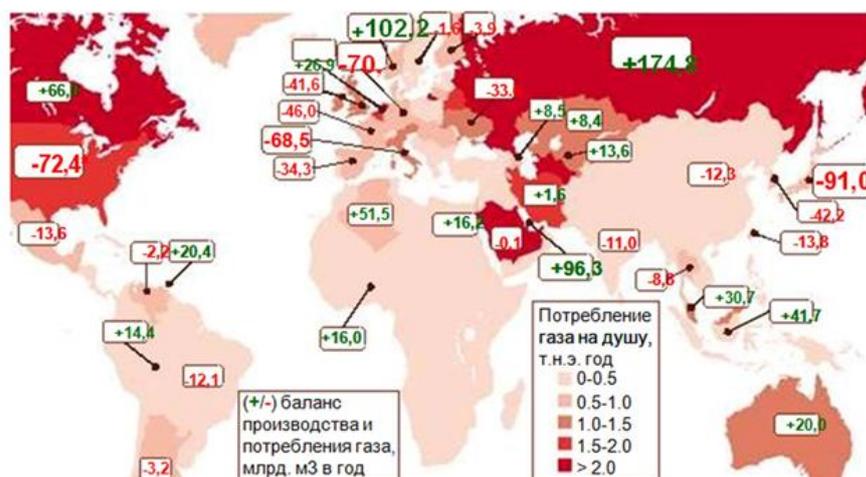


Рисунок 16 – Баланс производства/потребления газа в странах мира, 2011 г

На рисунке 17 показан прогноз структуры потребления природного газа по источникам. Северная Америка в перспективе выходит на импорт и добычу газа из сланца и угольных пластов, уменьшая добычу традиционного газа; Европа переходит на импорт СПГ и газа по трубопроводу; Китай почти не изменит свое потребление, но стремительно нарастит темпы потребления и производства.

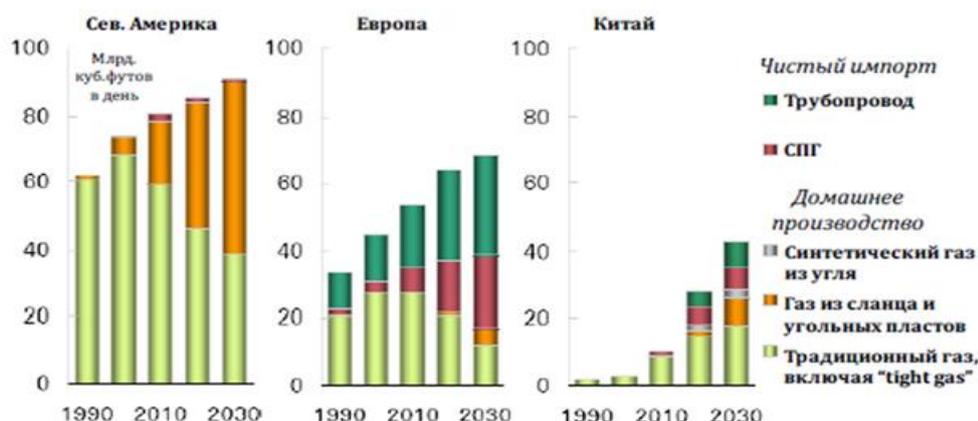


Рисунок 17 – Прогноз структуры потребления природного газ, по источникам.

В большинстве стран добыча газа экономически неэффективна, либо действуют государственные запреты, ограничивающие добычу газа не экологически чистыми способами, что влечет отсутствие инвесторов на данной территории. Оценка резервов сланцевого газа в странах мира в Приложении А (таблица А.1)

4.1.2 Оценка конкурентоспособности электрофизического способа подземной конверсии горючих сланцев

В таблице 4 приведены наиболее распространенные способы разработки горючих сланцев и их сравнение. Преимущества и недостатки возможных способов добычи сланцевого газа и нефти таблица 5

Таблица 4 – Наиболее распространенные способы разработки сланцевых плеев и их сравнение

Параметр	Горизонтальное бурение	Гидроразрыв пласта. Сейсмическое моделирование	Пропановый фрекинг	Электрофизический способ подземной конверсии горючих сланцев
Виды добычи, описание способов	Бурение гориз. Скважин различ. Диаметра, далее заливается реагент	Разрыв пласта, трещина. Заливается реагент	Бурении/разрыв. Реагент – густой пропан	Ток электрический.
Себестоимость	150\$ на 1000 кубов	150\$ на 1000 кубов	150\$ на 1000 кубов	50\$ на 1000 кубов
Объемы добычи в сутки	200-3200 м3	200-3200 м3	200-3200 м3	6000м3 с 1 м3 породы, 240 л смолы
Тип залежей	Легкодоступные	Можно разведывать уже закрытые месторождения, оживление скважин.	Разведка уже закрытых месторождений, оживление скважин.	Любые
Скорость добычи, производительность	17300-44200	17300-44200	17300-44200	Не рассчитана

Вред экологии/ экологичность добычи	И химикаты, и пропановый фрекинг	80 до 300 тонн химикатов	Пропан в виде геля, замена химических реагентов.	Экологично абсолютно, нет химикатов
Нормативные документы	Замена хим реагентам, хим реагенты запрещены	Запрет из-за неэкологичности	Замена хим реагентам,	Нет запретов
Возможность получения нефти	-	-	-	+
Простота эксплуатации	Не требуется до переустановка, так как бурение в различных направлениях. След-но большой охват площади.	Требуется доп оборудование, до реагенты. Много отходов в идее токсичных веществ.	Пропан в последствии испаряется. Но много оборудования.	Установка не сложная. Без горизонтального бурения, нет шахт, нет реагентов и отходов. + переработка органической части

Таблица 5 – Преимущества и недостатки возможных способов добычи сланцевого газа и нефти

Способы добычи	Преимущества	Недостатки
Гидравлический разрыв пласта (ГРП)	<ul style="list-style-type: none"> • Эффективен в любых скважинах 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая стоимость (сотни тысяч долл. США) • Требуется специальное оборудование для закачки в пласт геля с проппантом под высоким давлением
Газовый разрыв пласта (ТГХВ)	<ul style="list-style-type: none"> • Низкая стоимость (десятки тысяч долл. США) 	<ul style="list-style-type: none"> • Эффективен лишь в скважинах, эксплуатируемых при малых депрессиях (фонтанирующие и газлифтные скважины) • Использует пожаро- и взрывоопасные пороховые заряды
Электрофизический способ подземной конверсии горючих сланцев	<ul style="list-style-type: none"> • Низкая стоимость • Эффективен в любых скважинах • Пожаро- и взрывобезопасен • Не требует специального оборудования • Может быть использован любой нефтедобывающей или сервисной компанией • Основные реагенты экологически чисты 	<ul style="list-style-type: none"> • Малое количество исследований

4.2 Планирование НТП

Для каждого вида запланированных работ были установлены исполнители, в соответствии с должностной компетентностью, ответственностью, опытом. Также был составлен список работ и этапов по выполнению научно-исследовательской работы. Было проведено распределение исполнителей по видам работ Таблица 1. Для выполнения научно-исследовательских работ была сформирована рабочая группа, состоящая из 3 человек (руководитель проекта, инженер и студент(инженер)). Перечень этапов, работ и распределение исполнителей в Приложении Б (Таблица Б.1).

4.2.1 Определение трудоемкости работ

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

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{min\ i} + 2 \cdot t_{max\ i}}{5}, \quad (1)$$

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

$t_{min\ i}$ - 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.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоемкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

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

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} k, \quad (3)$$

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

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

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

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле

$$k = \frac{T_{кГ}}{T_{кГ} - T_{вД} - T_{пД}} \quad (4)$$

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

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

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

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кГ}}{T_{кГ} - T_{вД} - T_{пД}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45, \quad (5)$$

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

Результаты расчетов приведены в Приложении В (таблица В.1).

4.2.2 График работ

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения НТП в форме диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в рамках таблицы Г.1 (приложение Г) с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени действия проекта. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

4.3 Бюджет научно-технического проекта

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

4.3.1 Расчет материальных затрат проекта

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (6)$$

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.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 6–Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб			Затраты на материалы, (Z _м) руб		
		Исп	Исп	Исп	Исп	Исп	Исп	Исп	Исп	Исп
		.1	.2	.3	.1	.2	.3	.1	.2	.3
Бумага	лист	200	250	300	2	2	2	445	580	665
Картридж	шт.	1	1		100	100	100	116	116	116
					0	0	0	0	0	0
Интернет	М/бит	5	5	5	300	300	300	130	130	130
								0	0	0

Продолжение таблицы 6

Ручка	шт.	1	1	1	30	30	30	32	32	32
Дополнительная литература	шт.	2	2	2	500	500	500	1100	1100	1100
Тетрадь	шт.	2	2	2	10	10	10	22	22	22
Итого								4159	4194	4279

4.3.2 Расчет затрат на специальные материалы и оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью были включены все затраты, связанные с приобретением материалов и специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по разработке измерительного модуля.

При покупке оборудования следует учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его стоимости.

Таблица 7– Расчет затрат на приобретение спецоборудования для реализации проекта

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Осциллограф	1	1	1	238200	75000	183000	238200	75000	183000
2	Мультиметр	2	1	1	18692			37384	18692	
3	Паяльная станция	1	1	1	5950			5950		

4	Машинка шлифовальная	1	1	1	9200	9200		
5	Дрель электрическая	1	1	1	2800	2800		
6	Медный прокат	4	4	2	1000	4000	2000	
7	Стальной прокат	3	3	2	500	1500	1000	
8	Другое	100	100	100	50	5000	5000	5000
Итого:						30404	1035	22750
						1	00	0

4.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице Д.1 (приложение Д).

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), бюджетной эффективности НТП

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:

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

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

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

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

$$I_{финр}^{исп 1} = \frac{426400}{426400} = 1; I_{финр}^{исп 2} = \frac{225980}{426400} = 0,52; I_{финр}^{исп 3} = \frac{350800}{426400} = 0,82;$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i,$$

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

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

b^i, b^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 8).

Таблица 8 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1 (использование осциллографа Agilent Technologies MSOX2004A + комплектующие модуля по табл.5в первом исполнении)	Исп.2 (использование осциллографа Agilent Technologies DSO1072B +комплектующие модуля по табл.5в первом исполнении)	Исп.3 (использование осциллографа Agilent Technologies DSO 1024A+ комплектующие модуля по табл.5в первом исполнении)
1. Надежность	0,15	5	4	5
2. Универсальность	0,2	5	5	4
3. Уровень материалоемкости	0,05	4	4	4
4. Функциональная мощность (предо-	0,3	5	5	4

ставляемые возможности)	возможности)			
5. Ремонтпригодность	0,2	4	4	4
6. Энергосбережение	0,1	4	4	4
Итого	1	4,5	4,3	4,16

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,65$$

$$I_{p-исп2} = 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,5$$

$$I_{p-исп3} = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,15$$

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

$$I_{испi} = \frac{I_{p-испi}}{I_{финр}}$$

$$I_{исп1} = \frac{4,65}{1} = 4,65; I_{исп2} = \frac{4,5}{0,52} = 8,65; I_{исп3} = \frac{4,15}{0,82} = 5,06;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.9) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{испi}}{I_{испmax}}$$

Таблица 9 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,52	0,82
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,5	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	4,65	8,65	5,06
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,53	1	0,58

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии во втором исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Вывод: выполнив раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», было сделано следующее:

- Выполнен анализ глобального газового рынка, подтверждающий коммерческий потенциал НТП;
- Проведена оценка конкурентоспособности электрофизического способа подземной конверсии горючих сланцев, которая показала, что научно-исследовательский проект является актуальным, эффективным;
- Рассчитан бюджет проекта - 225 980 (двести двадцать пять тысяч девятьсот восемьдесят) рублей, продолжительность проекта 92 рабочих дня.
- Произведена оценка ресурсоэффективности проекта, которая указала, что наиболее эффективен второй вариант исполнения проекта.

5 Социальная ответственность

Электрофизический способ подземной газификации твердых топлив, разработанный в Томском политехническом университете, г. Томск, заключается в нагреве пласта до температуры газовыделения твердого топлива (300-500°C). Нагрев осуществляется путем пропускания через пласт тока промышленной частоты (50Гц) от наземного источника. По средствам джоулевого тепла происходит нагрев твердых ископаемых топлив. При нагреве пласта выше температуры газовыделения осуществляют отвод горючих газов через газоотводящие скважины. Процесс нагрева твердых ископаемых топлив условно можно разделить на 3 основные стадии:

1. Процесс развития частичных разрядов(ЧР); к образцу прикладывается синусоидальное напряжение с частотой 50 Гц. При увеличении значения прикладываемого напряжения, происходят пробой газовых включений, данный вид электрического разряда в газе получил название частичный разряд.

2. Электротепловой пробой- это процесс перехода диэлектрика из не проводящего состояния в проводящее под действием электрического поля, сопровождаемый разрушением структуры тела.

3. Нагрев. После пробоя материала происходит образование электрической дуги. Ток дуги осуществляет нагрев твердых топлив по средствам джоулевого тепла.

Частичные разряды являются иницирующим фактором процесса нагрева низкосортных твердых топлив. Измерение характеристик ЧР позволит определить оптимальные условия возникновения и последующего их развития.

Объектом исследования являются характеристики частичных разрядов в горючих сланцах.

Предметом исследования является разработка измерительной цепи, учитывая особенности процесса развития частичных разрядов в горючих слан-

цах и проблемы электромагнитной совместимости при измерении высокочастотных сигналов.

5.1 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке или эксплуатации проектируемого решения табл. 10.

Таблица 10– Опасные и вредные факторы при выполнении работ по измерению характеристик частичных разрядов в низкосортных твердых топливах.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
эксплуатация высоковольтного электрооборудования	1. отклонение показателей микроклимата на рабочем месте; 2. повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; 3. недостаточная освещенность рабочей зоны; 4. повышенный уровень шума на рабочем месте; 5. повышенный уровень электромагнитных излучений; 6. повышенная напряженность электрического поля; 7. повышенная напряженность магнитного поля; 8. физические перегрузки; 9. умственное перенапряжение; 10. монотонность труда;	1. движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования; 2. электрически ток. 3. острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	1. параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [16] 2. требования к воздуху рабочей зоны устанавливаются СП 60.13330.2012. 3. уровень освещенности устанавливается СП 52.13330.2011 [19] 4. уровень шума устанавливается СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96[17] 5. уровень электромагнитных полей, повышенной напряженности электрического и магнитных полей устанавливаются СанПиН 2.2.4.1191-03[18] 6. величина предельно допустимых концентраций (ПДК)
монтаж и ремонт электрооборудования			
калибровка измерительной цепи			
процесс осциллографирования			
подготовка образцов к эксперименту			
очистка внутренней полости камеры от продуктов конверсии			
Работа за компьютером, с документами			

Продолжение таблицы 1

		<p>вредных веществ в воздухе рабочей зоны устанавливаются ГН 2.2.5.1313-03 [20]</p> <p>7. время и условия работы за компьютером устанавливается СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [21]</p> <p>8. уровень физических нагрузок определяется Р 2.2.2006-05 [22]</p> <p>9. правила осуществления электромонтажных работ определяются ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление [23]; ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [24]; ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [25]; ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [26]; ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам [27]; ГОСТ 12.3.002–75 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности [28].</p>
--	--	---

Рассмотрим каждый фактор по отдельности.

1. Отклонение показателей микроклимата на рабочем месте. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений определяются СанПиН 2.2.4.548-96, в котором устанавливаются критерии безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды его обитания и требования к обеспечению благоприятных условий его жизнедеятельности. Соблюдение данных правил исключает негативные воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие человека, работоспособность, психологическое и физическое состояние, здоровья человека в целом. СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает оптимальные гигиенические требования к следующим показателям микроклимата в производственных помещениях для комфортной 8 часовой рабочей смены (таблица 11).

Таблица 11 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	Iб (140 - 174)	21 - 23	20 - 24	60 - 40	0,1
	IIa (175 - 232)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	IIб (233 - 290)	17 - 19	16 - 20	60 - 40	0,2
	III (более 290)	16 - 18	15 - 19	60 - 40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23 - 25	22 - 26	60 - 40	0,1
	Iб (140 - 174)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	IIa (175 - 232)	20 - 22	19 - 23	60 - 40	0,2
	IIб (233 - 290)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	III (более 290)	18 - 20	17 - 21	60 - 40	0,3

2. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны определяется в СП 60.13330.2012. При проведении работ связанных с выделением инородных частиц в воздух рабочего помещения следует обеспечить оптимальное качество воздуха. В нашем случае источником запыленности являются работы, связанные с подготовкой образцов к эксперименту (резка, сверление низкосортных твердых топлив). Во время проведения работ следует пользоваться средствами индивидуальной защиты органов дыхания (газопылезащитные) - респиратор, средствами защиты головы(каска), глаз(очки), спецодежду. Также в процессе проведения эксперимента осуществляется конверсия твердого топлива в газообразное и жидкое, при исправной газоотводной системе газообразные вещества, образованные в результате пиролиза, отводятся в атмосферу, после открытия камеры остатки вредных веществ удаляются с помощью местной механической вентиляции. Для обеспечения требуемого качества воздуха рабочего помещения применяется механическая вентиляция с частичным использованием естественной.

3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. Освещенность рабочей зоны регулируются по СП 52.13330.2011. При разработке измерительной цепи осуществляется работа с мелкими деталями (SMD резисторы и конденсаторы) размерами меньше 1 мм. Имеется необходимость в использовании локализованного искусственного освещения совместно с общим. Для облегчения манипуляций возможно использование биноккулярных увеличительных очков с подсветкой.

4. Повышенный уровень шума на рабочем месте. Источниками шума при проведении эксперимента является трансформатор, насос вакуумный, вентиляционный насос, при электромонтажных работах - угловая шлифовальная машинка, дрель электрическая. Следует использовать индивидуальные средства защиты органов слуха (наушники, заглушки, вкладыши). Уровень шума на рабочем месте регулируется СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Таблица 12 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБ

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

5. Повышенный уровень электромагнитных полей и излучений. Источниками электромагнитных полей и излучений являются: трансформатор высоковольтный, трансформатор типа РОТМ, высоковольтные контакторы, токопроводящие шины, кабели. Для уменьшения влияния электромагнитных полей на рабочую группу применяется заземленная экранирующая сетка.

Таблица 13 – Предельно допустимые уровни воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания, час	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	Общем	локальном
<= 1	1600 / 2000	6400/8000
2	800 / 1000	3200 / 4000
4	400 / 500	1600 / 2000
8	80 / 100	800 / 1000

6. Поражение электрическим током (ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ, ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ) . Источниками опасного фактора являются токопроводящие кабели, элементы электрооборудования. Следует пользоваться основными и

дополнительными средствами защиты при эксплуатации электрооборудования. К основным изолирующим электротехническим средствам для электроустановок напряжением выше 1000 В относятся: изолирующие штанги всех видов; изолирующие клещи; указатели напряжения и др. К дополнительным изолирующим электротехническим средствам для электроустановок напряжением выше 1000 В относятся: диэлектрические перчатки и боты; диэлектрические ковры и изолирующие подставки; штанги для переноса и выравнивания потенциала. Корпуса всех электроустановок должны иметь заземление. Используются предохранители, автоматические выключатели, системы защиты от поражения электрическим током.

7. Физические перегрузки, умственное перенапряжение, монотонность труда устанавливаются Р 2.2.2006-05. При этом учитываются физические динамические нагрузки рабочего за 8 часовую смену, подъем и перемещение тяжестей на расстояние от 1 метра с пола или с рабочей поверхности, стереотипные рабочие движения, рабочая поза, интеллектуальные нагрузки, сенсорные нагрузки, эмоциональные нагрузки и т.д. Для уменьшения влияния данных факторов рекомендуется делать перерывы продолжительностью в 7% от рабочего времени.

5.2 Экологическая безопасность

Как уже упоминалось, предметом исследования является разработка измерительной цепи. В ходе разработки и создания узлов измерительной цепи часть расходного материала (медный прокат, стальной прокат) было передано на вторичную переработку, другая часть (оргстекло, полиэтиленовая изоляция кабелей) была утилизирована в соответствии санитарными правилами. Также разработка измерительной цепи имеет косвенное влияние на экологическую безопасность:

- 1) использование электроэнергии, как для проведения экспериментов, так и для питания измерительных приборов;

2) для калибровки измерительной цепи необходимо проводить эксперименты, в процессе которых выделяются газообразные вещества (природный сланцевый газ). Газ собирается в резервуары для последующего хроматографического анализа.

Источников загрязнения гидросферы нет.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Вероятным источником чрезвычайной ситуации (ЧС) может быть короткое замыкание, с последующим возгоранием измерительного оборудования. Для предотвращения ЧС использовать исправное электрооборудование, перед эксплуатацией произвести осмотр оборудования на наличие неисправностей, проверить систему предохранителей и защиты электрооборудования.

Другим вероятным источником чрезвычайной ситуации может быть неисправность в системе газоотведения установки с последующим возгоранием горючего газа. Для предотвращения ЧС перед экспериментом следует проверить газовую систему, убедиться в ее исправности, произвести принудительное вакуумирование системы.

Для обоих случаев при возгорании немедленно сообщить о пожаре по телефону 01, дать сигнал тревоги, принять меры по организации эвакуации людей, одновременно с эвакуацией людей, приступить к тушению пожара своими силами и имеющимися средствами пожаротушения.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. Большинство работ производится в положении сидя, следовательно, необходимо обеспечить комфортное, безопасное для здоровья человека рабочее место. При этом нужно учитывать требования к размещению органов управления согласно ГОСТ22269-76, требования к размещению средств отображения информации. Рабочий стул должен обеспечивать поддержание физиологически рациональной рабочей позы оператора в процессе трудовой деятельности.

Заключение

В ходе работы был разработан модуль для измерения характеристик частичных разрядов в низкосортных твердых топливах и проведены их исследования, путем измерения основных характеристик разрядов. А также принят комплекс мер по минимизации электромагнитных помех и повышению точности измерений, изготовлено крепление под измерительный резистор, с минимальными паразитными параметрами, осуществлена экранировка измерительной системы, выполнено согласование измерительного кабеля на обоих концах, устранено влияние коронного разряда. Проведена серия экспериментов, в результате которых было определено влияние комплектующих модуля и расположения измерительного элемента в основной цепи на качество измерений.

В целом разработанный модуль позволит определить оптимальные условия возникновения ЧР, которые являются иницилирующим фактором нагрева низкосортных твердых топлив электрофизическим способом.

Исходя из проведенных исследований, можно сказать, что необходимо модернизировать конструкцию герметичной камеры и электродной системы для минимизации влияния паразитных параметров данных узлов на измеряемый сигнал. Необходимо сконструировать проходной изолятор так, чтобы уменьшить длину токопроводящего стержня, которая обладает паразитной индуктивностью, с сохранением электрической прочности изолятора. Также при конструировании необходимо минимизировать емкость между изолятором и камерой, представляющих цилиндрический конденсатор. Этого можно достичь путем увеличения соотношения R_2/R_1 согласно формуле для расчета цилиндрического конденсатора $C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln(\frac{R_2}{R_1})}$, где R_1 - радиус внутреннего цилиндра (радиус токопроводящего стержня), R_2 - радиус внешнего цилиндра (отверстие под проходной изолятор в камере). Немаловажным пунктом является усовершенствование электродной системы, а именно, необходимо уменьшить длину подводящих кабелей при этом сохранить их функциональные возможности.

Список использованных источников

1. С. Л. Сысков // Проблемы развития сланцевой промышленности России: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Саратов, 24-28 октября 1994 г. Саратов, 1995. –171 с.
2. Эрдман Дж. Геологические аспекты образования нефти. В кн. : Нефтегазоносность и глобальная тектоника. Пер. с англ. Москва: Недра, 1978. – 237 с.
3. Соо К.М. и др. // Состояние и тенденции развития сланцеперерабатывающей промышленности за рубежом: тематический обзор. – М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1990 – С.65.
4. Кучинский Г. С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1979. – 224 с.
5. ГОСТ Р 55191-2012 (МЭК 60270:2000). Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов. – введ. 2004–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 44 с.
6. Boggs S.A. , Densley R.J. Fundamentals of Partial Discharge in the Context of Field Cable Testing // IEEE Electrical Insulation Magazine. – Vol.16. - № 5. – P. 53-58.
7. Lemke E., Belijn S., Gulski E., Muhr M., Pultrum E., Strehl T., W., Hauschild J. Rickmann, and G. Rizzil, “Guide for partial discharge measurements in compliance with IEC 60270,” Technical Brochure 366 of Cigre Working Group D1.33, 2008. – P. 55.
8. Partial Discharge Detection in Installed HV Extruded Cable Systems, CIGRE Tech. Brochure 182, CIGRE WG 21.16, Apr. 2001.
9. F. H. Kreuger. Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment. London, UK: Butterworths, 1989.– p. 208.
10. Dissado L.A., Fothergill J.C. Electrical degradation and breakdown in polymers/ - London: Peter Peregrinus Ltd. – 1992. – p. 601.

11. Williams B. Union's oil shale plant still due to start-up next year / B. Williams // Oil and Gas Journal, 1982. Vol. 80. №. 26.
12. Носков М. Д. Формирование лапласовских структур в неравновесных условиях. – г. Северск: Изд. СГТИ, 2005. – 218 с.
13. Шваб А. Измерения на высоком напряжении.– М.: Энергоатомиздат,1983.– 264 с.
14. Шапиро Д. Н. Электромагнитное экранирование.– М.: Интеллект,2010.– 120 с.
15. Долгинов А. И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике.– М: «Энергия», 1968.– 232 с.
16. Элвин С. Бернс, Рональд Ф. Буш. Основы маркетинговых исследований с использованием Microsoft Office Excel = Basic Marketing Research: Using Excel Data Analysis. — М.: Вильямс, 2005. – С. 704.
17. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. // Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" – № 7. – 2002 г.
18. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: Учебное пособие. – М.: Омега-Л, 2004.
19. Нэреш К. Малхотра. Маркетинговые исследования. Практическое руководство Marketing Research: an applied orientation. — 4-е изд. — М.: Вильямс, 2006.
20. А.М. Козлитин, Б.Н. Яковлев. Чрезвычайные ситуации техногенного характера: Учеб. / Под. ред. А.И. Попова. – Саратов: Сар. гос. тех. ун-т, 2000.
21. Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей: учебное пособие/ Ю.А. Амелькович, Ю.В. Анищенко, А.Н. Вторушина, М.В. Гуляев, М.Э. Гусельников, А.Г. Дашковский, Т.А. Задорожная, В.Н. Извеков, А.Г. Кагиров, К.М. Костырев, В.Ф. Панин, А.М. Плахов, С.В. Романенко. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010.

22. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046>. – Загл. с экрана (дата обращения: 3.05.2015).
23. СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение» (с Изменением N 1) [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001026>. – Загл. с экрана (дата обращения: 12.05.2015).
24. ФЗ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://www.consultant.ru/popular/okrsred>. – Загл. с экрана (дата обращения: 18.05.2015).

Приложение А

Таблица А.1- Оценка резервов сланцевого газа в странах мира

Страна	ГИР, трлн. м3	Активность
США	14	Родоначальники технологии. Наиболее развитая отрасль. 29% добычи газа – из сланца. К 2030 году возможно вырастет до 50%.
Скандинавия	4,2	Традиционные месторождения газа
Великобритания	>5,5	Большие залежи, но добыча экономически неэффективна
Франция	6,4	Запрет на ГРП
Польша	1,4-5,3	Планы только с 2014 года. Бурение скважин
Остальная Зап. Европа	2,8	Экологически чувствительная тема, запрет на ГРП
Китай	45	Разведка. Более 20 скважин. Госпрограмма по развитию сектора добычи сланцевого газа
Алжир	10	Запасы традиционного газа, но нехватка воды.
Аргентина	27	Мало воды, жесткое государственное регулирование низких цен на газ. Отсутствие иностранных инвесторов.
Австралия	13	Запасы традиционного газа. Мало воды. В сланцах сухой газ без конденсата
Ю.Африка	17	Запрет на ГРП, мало воды

Приложение Б

Таблица Б.1– Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ для проекта	1	Составление и утверждение задания проекта	Руководитель проекта
	2	Календарное планирование работ по НИР	Руководитель, студент (дипломник)
Теоретические и экспериментальные исследования	3	Подбор и изучение материалов по теме исследования	Студент (дипломник)
	4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, студент(дипломник)
	5	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Руководитель, инженер, студент (дипломник)
Обобщение и оценка результатов	6	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, студент (дипломник)
	7	Разработка блок-схемы,	Руководитель, студент (дипломник)

Продолжение таблицы Б.1

		принципиальной схемы	ник)
Разработка технической документации и проектирование; изготовление и испытание макета (опытного образца)	8	Выбор и расчет конструкции	Студент (дипломник), руководитель
	9	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	студент (дипломник), инженер
	10	Лабораторные испытания макета	руководитель, студент
Оформление отчета по проекту. Сдача проекта	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент (дипломник), руководитель
	12	Составление пояснительной записки	Студент (дипломник), руководитель

Приложение В

Таблица В.1 – Временные показатели проведения проекта

№ работ	Исполнители	Продолжительность работ						
		t_{\min} чел-дн.	t_{\max} чел-дн.	$t_{\text{ож}}$ чел-дн.	T_p раб.дн	T_k кал.д н	Y_i , %	Γ_i , %
1	Руководитель проекта, студент (дипломник)	1	4	2	1,1	2	1,65	1,65
2	Студент(дипломник)	13	38	23	23	34	35,46	37,11
3	Руководитель, студент(дипломник)	1	5	3	0,87	2	1,65	38,76
4	Руководитель, студент(дипломник)	2	7	14	4	3	3,40	42,16
5	Руководитель, инженер, студент (дипломник)	4	14	8	3,4	4	4,20	46,36
6	Руководитель, студент(дипломник)	5	16	9	4,7	4	4,30	50,66
7	Руководитель, студент дипломник	10	27	16	16	24	24,97	75,63
8	Студент(дипломник), руководитель	1	5	3	0,87	2	1,65	77,28
9	студент(дипломник), инженер	2	14	4	3,4	5	5,29	82,57
10	руководитель, студент	4	15	8	4	6	5,99	88,56
11	Студент(дипломник), руководитель	4	14	7	3,4	5	5,4	93,76
12	Студент(дипломник), руководитель	2	7	4	4	6	5,99	100
ИТОГО						97		

Приложение Г

Таблица Г.1– Календарный план проведения НТП

Этапы	Вид работы	Исполнители	t _к	январь	февраль	март	апрель	май
1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель проекта	2					
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент(дипломник)	34					
3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент(дипломник)	2					
4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, студент(дипломник)	3					
5	Построение макетов (моделей) и	Руководитель, инженер, студент(дипло	4					

Приложение Д

Таблица Д.1 – Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.- дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3	Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3	Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3
1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель проекта	2			2,6			5,2		
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент(дипломник)	23			0,6			13,8		
3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент(дипломник)	3			0,6			1,8		
4	Проведение теоретических расчетов и обоснова-	Руководитель, студент(дипломник)	14			0,6			8,4		

	ний				
5	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Руководитель, инженер, студент(дипломник)	8	4,4	35,2
6	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, студент(дипломник)	9	0,8	7,2
7	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Руководитель, студент дипломник	16	0,8	12,8
8	Выбор и расчет конструкции	Студент(дипломник), руководитель	3	0,8	2,4
9	Конструирование и	студент(дип	4	4,4	17,6

Продолжение таблицы Д.1

	изготов- ление ма- кета (опытного образца)	ломник), инженер			
10	Лабора- торные испытания макета	руково- дитель, студент	8	0,8	6,4
11	Оценка эффектив- ности по- лученных результата- тов	Сту- дент(дип ломник), руково- дитель	7	0,6	4,2
12	Составле- ние пояс- нительной записки	Студент, руково- дитель	4	0,8	3,2
ИТОГ:					118,2