

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

---

Институт: Энергетический  
Направление подготовки: 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»  
Кафедра: Электроэнергетических систем

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Обнаружение частичных разрядов импульсным методом</b>

УДК 621.319.4: 621.315.61: 621.374

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4A	Чипурнов Максим Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭЭС	Лавринович В. А.	К.Т.Н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры менеджмента	Потехина Н. В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Извеков В. Н.	К.Т.Н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А. О.	К.Т.Н.		

Томск – 2016 г.

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

---

Институт – Энергетический  
Направление подготовки – 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»  
Уровень образования – Магистратура  
Кафедра – Электроэнергетических систем  
Период выполнения – осенний/весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.16
--	---------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.12.14	Обзор отечественной литературы	15
11.03.15	Методика проведения исследований	5
30.04.16	Экспериментальная часть	20
30.05.16	Обсуждение результатов	5
01.06.16	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
03.06.16	Социальная ответственность	20
04.06.16	Заключение	5
06.06.16	Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке	10

**Составил преподаватель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭЭС	Лавринович В. А.	к.т.н., профессор		

**СОГЛАСОВАНО:**

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



	установки; 6. Обсуждение результатов; 7. Заключение.
Перечень графического материала	Презентация в Power Point.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	<b>Потехина Н. В.</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Извеков В. Н.</b>
<b>Приложение А</b>	<b>Воробьева В. В.</b>
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<b>1. Introduction.</b>	
<b>2. General information about the partial discharge</b>	
<b>3. Methods for determination of partial discharges</b>	
<b>4. The experimental procedure. Circuit Description</b>	
<b>5. Conclusion.</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	<b>30.09.2015</b>
---	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор кафедры ЭЭС	Лавринович В. А.	к.т.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM4A	Чипурнов Максим Александрович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM4A	Чипурнову Максиму Александровичу

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления на социальные цели 27,1%.</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Определение потенциальных потребителей Оценка конкурентоспособности SWOT-анализ.</i>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Формирование плана и графика НИ: -определение иерархической структуры работ; - определение трудоемкости работ; - календарный план. - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной эффективности</i>	<i>Оценка ресурсной эффективности исследования</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Матрица SWOT-анализа
2. Календарный план-график проведения НИ
3. Бюджет затрат на НИ
4. Оценка ресурсной эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ст. преподаватель кафедры Менеджмента	Потехина Н. В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM4A	Чипурнов Максим Александрович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 124 с., 68 рис., 13 табл., 22 источника, 1 прил.

Ключевые слова: импульсный метод, частичный разряд, обнаружение, дефект, науглероживание.

Объекты исследования: секции конденсатора (90 пФ, 0,12 мкФ, 700 пФ, 1100 пФ, 1500 пФ), пропитывающий состав (касторовое масло).

Цель работы: исследование метода для обнаружения частичных разрядов при помощи подаваемого импульсного напряжения на испытуемый объект.

Проведено испытания по обнаружения частичных разрядов путем подачи импульса с крутым фронтом на испытуемый объект, в котором возможно появление частичных разрядов (секция импульсного конденсатора). Установлено, что появление частичных разрядов изменяет форму тока через испытуемый объект путем подачи на объект напряжения с крутым фронтом. Различная емкость испытуемых объектов влияет на форму кривых и механизм появления частичных разрядов. При емкости испытуемого объекта меньше емкости включения, в момент разряда емкость включения снижает высокочастотную составляющую. При значениях емкости объекта значительно больше емкости включения, появляющиеся частичные разряды приводят к появлению высокочастотных колебаний.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: разработан лабораторный стенд по обнаружению частичных разрядов путем подачи одного короткого импульса.

Область применения: электротехника, электрические машины.

Выпускная магистерская диссертация выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word и представлена на компакт диске (в конверте на обороте обложки)

## Содержание

Введение.....	8
Глава 1. Литературный обзор.....	10
1.1. Общие сведения о частичных разрядах.....	10
1.2. Методы определения частичных разрядов.....	14
1.3. Особенности развития частичных разрядов в изоляции конденсаторов .....	19
1.4. Определения частичных разрядов импульсным методом.....	21
1.5. Выводы и постановка задач на исследование.....	25
Глава 2. Методическая часть.....	26
2.1. Подготовка образцов для испытания.....	26
2.2. Пропитка испытуемых образцов.....	29
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	31
4.1. Предпроектный анализ.....	32
4.1.1. Потенциальные потребители исследования.....	32
4.1.2. SWOT – анализ.....	35
4.2. Планирование управления научно-техническим проектом.....	37
4.2.1 Иерархическая структура работ проекта.....	37
4.2.2. План проекта.....	38
4.2.3. Бюджет научного исследования.....	40
4.3. Определение ресурсной эффективности исследования.....	47
4.4. Вывод по главе.....	49
Список публикаций.....	50

## Введение

В условиях современной российской энергетики, когда 40 – 50 % основного силового электрооборудования достигло срока проектной эксплуатации, главной задачей диагностирования оборудования становится продление срока службы до выработки его ресурса. В число неразрушающих испытаний изоляции высоковольтного оборудования, наряду с широко распространенными измерениями тангенса угла диэлектрических потерь и абсорбционных характеристик, входит определение характеристик частичных разрядов (ЧР).

Частичные разряды в изоляции при воздействии сильных электрических полей и эксплуатационных условий представляют собой явление, зависящее от большого числа факторов и характеризующееся множеством параметров. Сложность такого явления, как частичный разряд, их разрушительное действие и потребность в практическом использовании знаний о частичных разрядах привлекают многих исследователей, решающих частные задачи всего комплекса проблем.

Фактически в любом высоковольтном оборудовании в рабочем режиме присутствуют частичные разряды, однако их влияние на изоляцию может различаться. При длительной эксплуатации высоковольтного оборудования, в связи воздействием на его изоляцию внешних факторов, в диэлектрике возникают дефекты, приводящие к появлению частичных разрядов.

Частичные разряды представляют опасность из-за того, что приводят к разрушению изоляции постепенно. Однако, фиксирование ЧР позволяет энергетическим компаниям определять места повреждений в энергооборудовании, которые произойдут в будущем, актуально производить ремонт и избегать крупных аварий в работе стационарного и сетевого оборудования.



Органическая изоляция всех видов интенсивно разрушается как самими ЧР, так и побочными продуктами их действия. В конечном итоге воздействие ЧР приводит к развитию дефекта и пробоем всей изоляции.

При появлении частичных разрядов возникают короткие импульсы тока и напряжения, их параметры зависят от типа и параметра изоляции, величины ее старения, рабочего напряжения, нагрузки, температуры и др.

Упоминания о таком явлении, как частичный разряд появилась после создания высоковольтного оборудования, приблизительно в 30-х годах прошлого века. Повреждение первых образцов из-за недостаточности электрической прочности изоляции отмечалось редко, а потенциальные дефекты были не столь ощутимыми, поскольку электрическая изоляция имела достаточно большой запас электрической прочности и работала при относительно низкой напряженности электрического поля, что не способствовало образованию частичных разрядов. Необходимость устранения частичных разрядов возникла с опытом эксплуатации электрических машин, генераторов и кабелей. Электрическая изоляция такого оборудования оказалась наиболее подверженной действию частичных разрядов ввиду особенности своей структуры и необходимости применения повышенной напряженности электрического поля при уменьшении габаритных размеров.

Уже более 50 лет физические процессы при ЧР в различных видах изоляции и высоковольтных конструкциях, а также техника их регистрации находятся под пристальным вниманием различных исследователей и научных центров [1].

## Глава 1. Литературный обзор

### 1.1. Общие сведения о частичных разрядах

В процессе эксплуатации высоковольтное оборудование подвергается длительному (во время всего срока службы) влиянию рабочего напряжения и множественному воздействию внутренних и атмосферных перенапряжений. Внутренние перенапряжения появляются при коммутации элементов электрической сети или установки, а также в аварийных или аномальных режимах. В оборудовании, связанном с воздушными линиями электропередачи, происходят грозовые перенапряжения, которые вызваны ударами молнии в элементы электрической сети или вблизи них.

Наравне с этим изоляция так же подвергается температурным и механическим воздействиям, вибрациям, а в определенных случаях и увлажнению, которое приводит к ухудшению ее электрических и механических свойств.

Воздействие кратковременных перенапряжений при недостаточной электрической прочности может привести к пробое или перекрытию изоляции непосредственно во время воздействия перенапряжения [1].

Обычно у высоковольтного оборудования электрическая изоляция неоднородна или содержит в результате технологических операций при изготовлении проводящие или газовые включения, что приводит к неоднородности электрического поля и его повышенной напряженности в таких зонах. ЧР представляют собой локальные электрические разряды, возникающие под действием высокой напряженности электрического поля в малых объемах изоляции, электрическая прочность которых оказалась меньше воздействующей напряженности электрического поля в этих объемах [2].

Изоляция, находящаяся под действием ЧР разрушается не мгновенно, так как развития частичных разрядов протекает медленно и зависит от интенсивности ЧР. Фактически в любом высоковольтном оборудовании в

рабочем режиме присутствуют частичные разряды, однако их влияние на изоляцию может различаться. Поэтому при небольшой интенсивности частичных разрядов электроизоляция оборудования сохраняет свои функции в течение всего срока службы. Высокая интенсивность ЧР приводит к разрушению изоляции в виду увеличению небольших воздушных или масляных промежутков, которыми являются ЧР, позже этот процесс приводит к пробое и выводу оборудования из работы до истечения срока эксплуатации [2].

Появление ЧР всегда указывает на местную неоднородность диэлектрика. Поэтому регистрация частичных разрядов предоставляет информацию о качестве изготовления той или иной изоляционной конструкции и позволяет обнаружить местные дефекты, которые в действительности нельзя обнаружить высоковольтными испытаниями или измерениями интегральных характеристик изоляции ( $tg\delta$ ,  $R_{изол.}$  и др.).

Известно, что частичные разряды в изоляции появляются в результате введения воздушных включений или проводящих частиц при нарушении технологии изготовления оборудования и его эксплуатации. Однако могут возникнуть такие эксплуатационные условия, что в оборудовании, выдержавшем все испытания на отсутствие ЧР нормированного уровня, могут образоваться ЧР. Наиболее восприимчиво к образованию ЧР оборудование с бумажно-масляной изоляцией. Особенно подвержены образованию ЧР вводы (проходные изоляторы). В силовых и измерительных трансформаторах ЧР возникают между слоями бумаги (прокладками из электрокартона), на поверхности картонных цилиндров; в силовых кабелях чаще всего ЧР — в концевых или соединительных муфтах; в конденсаторах связи и измерительных трансформаторах напряжения конденсаторного типа — на краях потенциальных обкладок электродов. В электрических машинах обычно — в зоне выхода статорной обмотки из паза магнитопровода (т.е. в лобовой части) [2].

Эквивалентная схема при анализе частичных разрядов в диэлектрика емкостью  $C_x$  может быть представлена тремя емкостями на рисунке 1.1:  $C_B$  — емкость включения;  $C_D$  — емкостью элемента диэлектрика, включенного последовательно с первым;  $C_a$  — емкостью оставшейся части диэлектрика, без включений. При этом

$$C_x = C_a + \frac{C_B \cdot C_D}{C_B + C_D}. \quad (1.1)$$

Возникновение частичных разрядов происходит, когда напряжение на  $C_B$  достигнет напряжения возникновения разряда во включении.

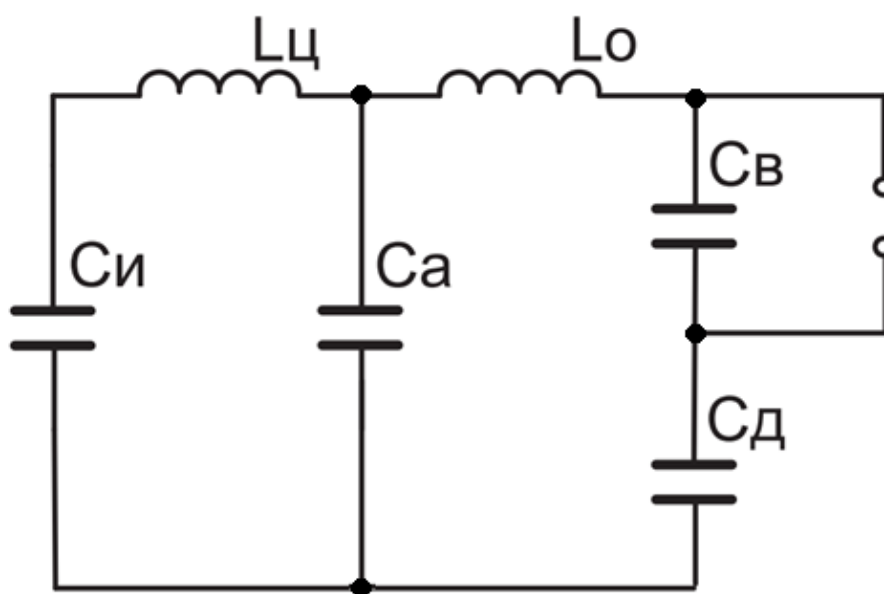


Рисунок 1.1 - Эквивалентная схема при анализе ЧР в диэлектрике

Возникновение частичных разрядов сопряжено со следующими физическими явлениями:

- развитие импульсного тока;
- электромагнитное излучение;
- ударные волны;
- разложение диэлектрика на молекулярные группы;
- излучение света;
- нагрев локальных объемов изоляции с ЧР [3].

Продолжительное влияние рабочего напряжения, многократные перенапряжения, а также комбинация температурных и механических воздействий и увлажнение могут привести к уменьшению электрической прочности из-за процессов старения изоляции, в том числе вследствие разрушения из-за воздействия частичных разрядов и последующему ее выходу из строя.

Надежная работа изоляции высоковольтных конструкций может быть обеспечена при соблюдении следующих условий:

1. Изоляция должна выдерживать с достаточной для практики надежностью возможные в эксплуатации перенапряжения с учетом имеющихся защитных мер, статистического характера воздействующих перенапряжений и электрической прочности изоляции, а также кумулятивных процессов, связанных с частичным повреждением изоляции при воздействии перенапряжения.

2. Изоляция должна с достаточной для практики надежностью выдерживать длительно (в течение всего срока эксплуатации) воздействующее рабочее напряжение с учетом возможных его изменений в допустимых пределах.

Выбор допустимых напряженностей при перенапряжениях во многом определяется кратковременной электрической прочностью изоляции. Однако в ряде случаев (особенно при перенапряжениях длительностью порядка сотых долей секунды и более) допустимые напряженности могут определяться отсутствием частичных повреждений изоляции при перенапряжениях и задаются характеристиками ЧР. При выборе допустимых рабочих напряженностей электрического поля в значительном количестве типов изоляционных конструкций определяющими являются характеристики ЧР в изоляции.

Изучение этих характеристик является первостепенно важной задачей для конденсаторов, кабелей, проходных изоляторов, трансформаторов тока,

работающих при постоянном, переменном, а также импульсном напряжениях [1].

## **1.2. Методы определения частичных разрядов**

Внешними проявлениями частичных разрядов в изоляции являются импульсы напряжения на объекте и тока переходного процесса в цепи. Ток частичного разряда не может быть непосредственно измерен, однако вызываемые им быстрые изменения электромагнитного поля могут быть отмечены чувствительным прибором.

Таким образом, в основу методов обнаружения частичных разрядов в изоляции может быть положено измерение импульсов напряжения или тока переходного процесса в цепи и излучения от тока частичного разряда [4].

Измерительные установки по способу применения могут быть разделены на две группы: установки для непосредственного включения в испытательную схему и установки, не требующие для включения разрыва цепей испытательной схемы. Это различие определяется схемой и конструкцией измерительного элемента датчика.

В установках первой группы осуществляется непосредственная (гальваническая) связь с цепью, по которой протекает измеряемый ток. Измеряется падение напряжения от этого тока на измерительном элементе.

В установках второй группы осуществляется емкостная, индуктивная или электромагнитная связь измерительного элемента (датчика) с измеряемым явлением. Это дает возможность измерения частичных разрядов под рабочим напряжением без отключения оборудования, что и определяет широкое применение установок второй группы (с бесконтактными датчиками) при эксплуатационных измерениях [4].

Измерения характеристик ЧР производятся при испытании изоляции высоким переменным, постоянным или импульсным напряжениями. Обычно эти измерения выполняются с целью:

1. установить, что в изоляции испытуемого объекта нет ЧР, измеряемые характеристики которых превышают нормированное значение при нормированном (заданном) напряжении;
2. определить напряжение возникновения и напряжение погасания ЧР;
3. установить, что интенсивность ЧР в изоляции испытуемого объекта не изменяется во время действия нормированного (заданного) напряжения более, чем на нормированное значение;
4. определить интенсивность ЧР при нормированном напряжении.

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

Методы регистрации частичных разрядов, описанные в современной технической литературе, можно разделить на две группы.

**1. Неэлектрические методы.** Регистрация свечения ЧР (оптический метод). Свечение вызывается рекомбинацией заряженных частиц. Этот метод применяется преимущественно при проведении научных исследований. Он позволяет регистрировать ЧР главным образом на краях электродов. Применение прозрачных электродов (например, стекол с прозрачным проводящим слоем) позволяет регистрировать ЧР под электродом. Применение фотоэлектронных умножителей позволяет регистрировать свечение от ЧР до  $10^{-9}$  Кл. Электрооптический преобразователь повышает этот показатель до  $10^{-10}$  Кл. Этот метод обладает высокой

чувствительностью, возможностью определить место возникновения ЧР, хорошей помехозащищенностью. Регистрация ЧР внутри непрозрачных изоляционных конструкций таким методом невозможна.

*Акустический метод.* Преимущество этого метода — возможность регистрации ЧР внутри непрозрачных объектов большой емкости, т. е. там, где применение других методов затруднительно. Чувствительность этого метода ниже, чем у оптического, и существенно зависит от толщины и звукоизоляционных свойств диэлектрика (минимальное значение внутренних ЧР, обнаруживаемых на слух,  $10^{-9}$  Кл при толщине твердой изоляции в 5 мм).

Специальные микрофоны позволяют повысить чувствительность акустического метода до  $50 \cdot 10^{-12}$  Кл и, например, в силовых трансформаторах или кабелях определять место, где возникают ЧР [4].



Рисунок 1.2 – Принципиальная схема акустического метода

*Барометрический метод.* Достоинство этого метода — высокая помехозащищенность от электрических помех. Метод применяется при регистрации частичных разрядов в разделках силовых кабелей. Недостатки — высокая трудоемкость, сложность изготовления, инерционность метода [4].

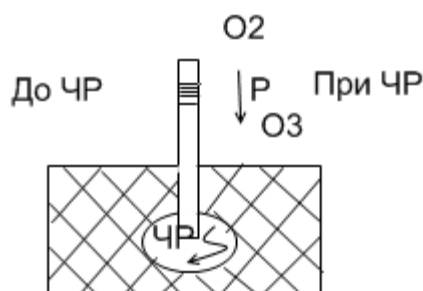




Рисунок 1.3 – Принципиальная схема барометрического метода

**2. Электрические методы.** Чувствительность этих методов выше, чем чувствительность неэлектрических методов, поэтому в настоящее время они нашли более широкое применение. Электрические методы можно разделить на три вида:

*Косвенные методы регистрации ЧР.* К ним относятся методы, позволяющие определять диэлектрические потери с помощью измерения  $tg\delta$  изоляции или измерения вольт-кулоновых характеристик и получать зависимости  $tg\delta$  от напряжения. Эти методы дают представление о напряжении возникновения ЧР (например, по резкому увеличению  $tg\delta$ ) и об их мощности (по площади циклограммы или по  $tg\delta$ ). Поскольку при измерениях этим методом происходит суммирование различных видов потерь в диэлектрике, то затруднено выделение потерь, вызванных непосредственно ЧР. Кроме того, эти методы обладают малой чувствительностью.

*Регистрация ЧР с помощью антенн.* Схемы, применяемые в этом случае, рассчитаны для работы в диапазоне метровых или сантиметровых волн и иногда применяются при профилактических испытаниях изоляции ЛЭП; для регистрации ЧР в других изоляционных конструкциях практически не используются [4].

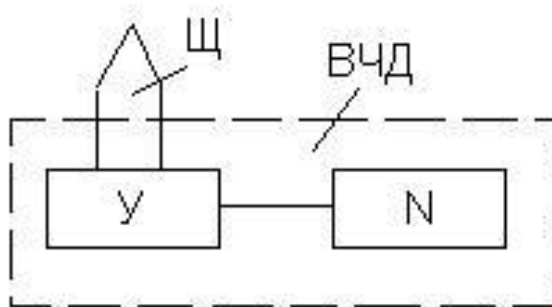


Рисунок 1.4 – Блок-схема метода: У – усилитель; Щ – щуп (рамочная антенна); N – осциллограф

*Регистрация высокочастотных колебаний*, возникающих при ЧР в изоляции. Эти схемы нашли наиболее широкое распространение, так как позволяют надежно измерять основные характеристики ЧР и обеспечить высокую чувствительность [4].

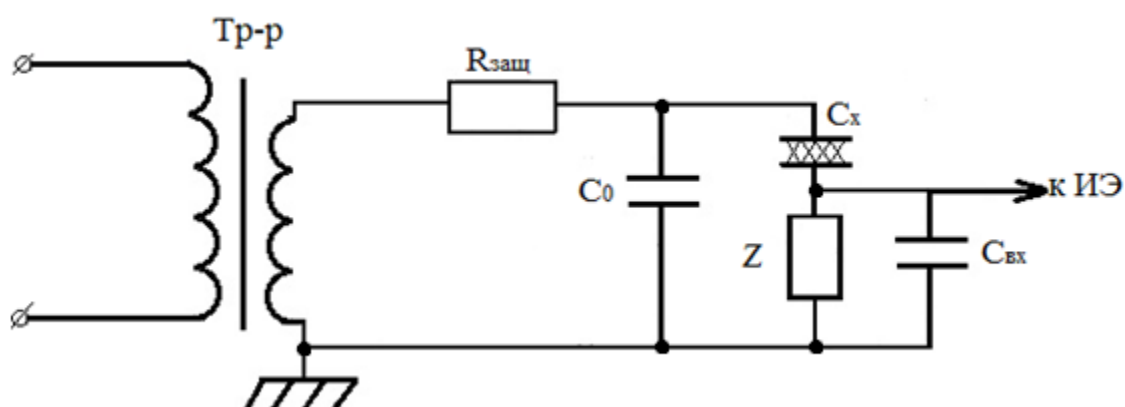


Рисунок 1.5 – Схема для регистрации высокочастотных колебаний

### 1.3. Особенности развития частичных разрядов в изоляции конденсаторов

В качестве диэлектрика секций в силовых конденсаторах применяется бумажная, пленочно-бумажная или пленочная изоляция, пропитанная жидким диэлектриком (нефтяным маслом, хлордифенилами, касторовым маслом и др.).

В изоляции секции конденсатора можно выделить две характерные области: первая область сильно неоднородного поля, которая возникает у края фольги и сохраняется на расстоянии от края обкладки на порядок больше, чем толщина диэлектрика; вторая область — плоскопараллельного поля, имеющая место под обкладками на больших расстояниях от края фольги, и где напряженность электрического поля в каждом из слоев диэлектрика остается постоянной [1]. В большинстве случаев напряженность ЧР выражается средней расчетной напряженностью электрического поля:

$$E_{\text{ч.р.}} = U_{\text{ч.р.}}/d_c \quad (1.2)$$

где  $U_{\text{ч.р.}}$  — напряжение, прикладываемое к обкладкам секции конденсатора, приводящее к возникновению ЧР определенной интенсивности;  $d_c$  — толщина твердой фазы диэлектрика секции.

Поскольку изоляция секций состоит из ряда последовательных слоев бумаги, пленки и жидкого диэлектрика, то при рассмотрении электрических характеристик такой изоляции наиболее целесообразно применить последовательную эквивалентную схему, приведенную на рисунке 1.6, в которой слои бумажной, пленочной изоляции и жидкого диэлектрика соединены последовательно.

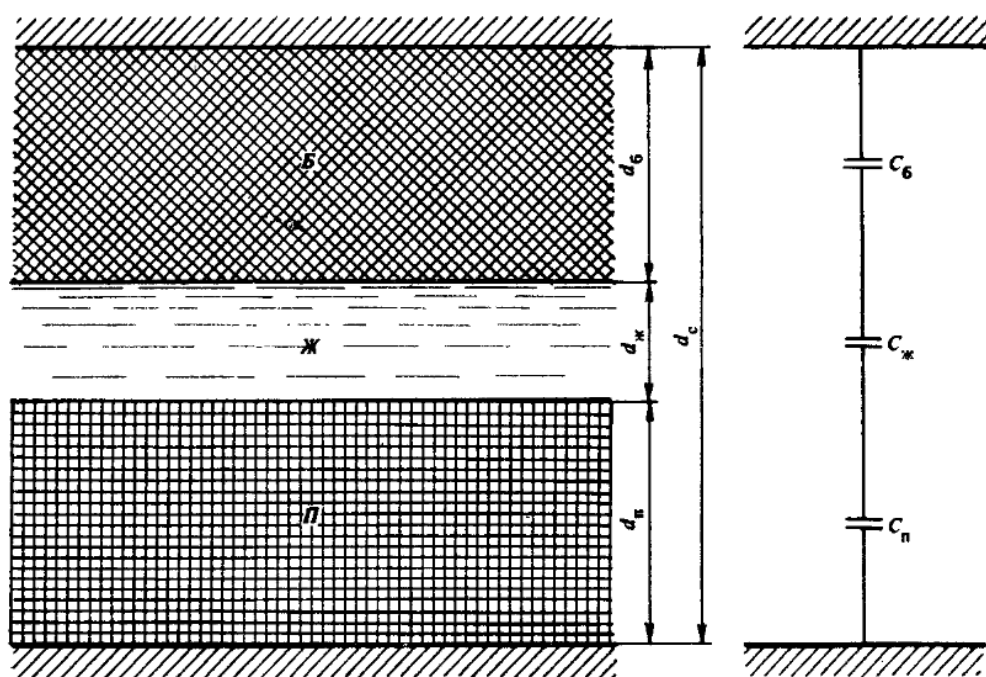


Рисунок 1.6 – Эквивалентная схема бумажно-пленочного пропитанного диэлектрика: Б – бумага; Ж – жидкий диэлектрик; П – пленка [1]

При применении неполярных пропиточных жидких диэлектриков (нефтяное масло) наибольшая напряженность возникает в прослойке жидкого диэлектрика. Также высокая напряженность возникает в пленочном диэлектрике в случае применения неполярных (полипропилен, полиэтилен, полистирол, фторопласт и др.) или слабополярных (полиэтилентерефталат) пленок. При применении полярных пропитывающих жидкостей (хлордифенилы, касторовое масло) с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{ж}/\epsilon_0 \approx 5,5 \div 6$ , напряженность в прослойке жидкого диэлектрика мало отличается от напряженности в бумаге. При этом необходимо учитывать, что в хорошо высушенной и пропитанной изоляции нет пузырьков воздуха или какого-либо другого газа. Изоляция пропитывается обычно при остаточном давлении  $1 - 10^{-2}$  Па, в результате чего в изоляции остается  $10^{-5}-10^{-3}$  % газа (воздуха) по объему. Растворимость воздуха в жидких диэлектриках при  $20^\circ\text{C}$  составляет около 10% по объему, поэтому весь оставшийся газ будет растворен в пропитывающем составе. Газовые включения могут образоваться лишь при интенсивном разложении масла ЧР

в изоляции конденсатора, либо в результате нарушения технологического процесса сушки и пропитки.

В конденсаторной изоляции ЧР при переменном напряжении возникают прежде всего на краю электрода, где имеется повышенная напряженность электрического поля.

Малая толщина бумаги и пленок (4 - 30 мкм) позволяет получать изоляцию с малой толщиной диэлектрика между обкладками  $d_c$  (20 - 150 мкм), обладающую весьма высокой электрической прочностью и большой напряженностью ч. р., которая увеличивается пропорционально  $1/d_c$ .

#### 1.4. Определения частичных разрядов импульсным методом

Для метода диагностики состояния изоляции по уровню частичных разрядов важна форма приложенного испытательного напряжения. При различных типах испытательного напряжения будут различные процессы возникновения частичных разрядов. Из основных видов испытательного напряжения следует отметить постоянное, переменное и импульсное напряжения. Из анализа теории и практики исследования частичных разрядов следует, что наиболее предпочтительно применение в качестве испытательного напряжения – импульсного, так как при такой форме испытательного напряжения можно резко ограничить уровень помех и с достаточной точностью регистрировать параметры частичных разрядов [2].

Если к испытываемому объекту приложено импульсное напряжение, которое имеет вид затухающей косинусоиды

$$u = U_m e^{-\alpha_k t} \cos \omega t \quad (1.3)$$

, то при отсутствии ЧР напряжение на емкости включения также косинусоидально затухающе и равно

$$u_g = U_{gm} e^{-\alpha_k t} \cos \omega t \quad (1.4)$$

, где  $U_{gm}$  — амплитуда напряжения на включении

$$U_{\epsilon m} = U_m \frac{C_\delta}{C_\epsilon + C_\delta} = U_m \eta \quad (1.5)$$

, где  $\eta = C_\delta / C_\epsilon + C_\delta$ .

В случае включения в виде прослойки толщиной  $d_\delta$ , вытянутой поперек силовых линий поля,

$$U_{\epsilon m} = U_m \frac{\epsilon_\delta / (d - d_\delta)}{\frac{\epsilon_\epsilon}{d_\epsilon} + \frac{\epsilon_\delta}{d - d_\delta}} = U_m \frac{\epsilon_\delta d_\epsilon}{\epsilon_\epsilon / (d - d_\delta) + \epsilon_\delta d_\epsilon} \quad (1.6)$$

При воздействии импульсного напряжения в первый полупериод времени ЧР не возникают, это объясняется влиянием времени запаздывания на формирование разряда.

При перемене знака напряжения во второй полупериод поле заряда будет складываться с полем приложенного напряжения, когда напряжение на включении достигнет значения  $U_{вз}$  (напряжения зажигания разряда во включении). При пробое напряжение на включении падает до  $U_{вп}$  (напряжения погасания разряда во включении), при котором разряд гаснет.

После погасания разряда напряжение на включении начинает нарастать от значения  $U_{вп}$  по кривой, соответствующей изменению приложенного напряжения, смещенной по вертикали на значение постоянной составляющей, возникшей вследствие появления зарядов на поверхности включения (на емкости  $C_\delta$ ). Когда напряжение  $U_\delta$  на емкости  $C_\delta$  достигнет значения  $U_{вз}$ , процесс повторяется.

При прохождении напряжения через максимум включение находится под напряжением, значение которого лежит в интервале между  $U_{вз}$  и  $U_{вп}$ . Затем происходит уменьшение напряжения на включении до 0 и дальнейший рост до  $-U_{вз}$ . В первом приближении можно принять, что при обеих полярностях пробивное напряжение включения одинаковое. При достижении напряжением на включении значения  $-U_{вз}$  происходит пробой включения и процесс продолжается описанным выше образом (Рисунок 1.7) [2].

При таком механизме явления ЧР должны прекращаться при прохождении напряжения через максимум и вновь возникать, когда напряжение на выводах испытуемого объекта достигнет значения  $U_1$ , соответствующего изменению напряжения на включении на  $U_{\epsilon 1} \approx U_{\epsilon 3} + U_{\epsilon n}$ .

$$U_1 = \frac{1}{\eta} (U_{\epsilon 3} + U_{\epsilon n}) = \frac{U_{\epsilon 1}}{\eta}. \quad (1.7)$$

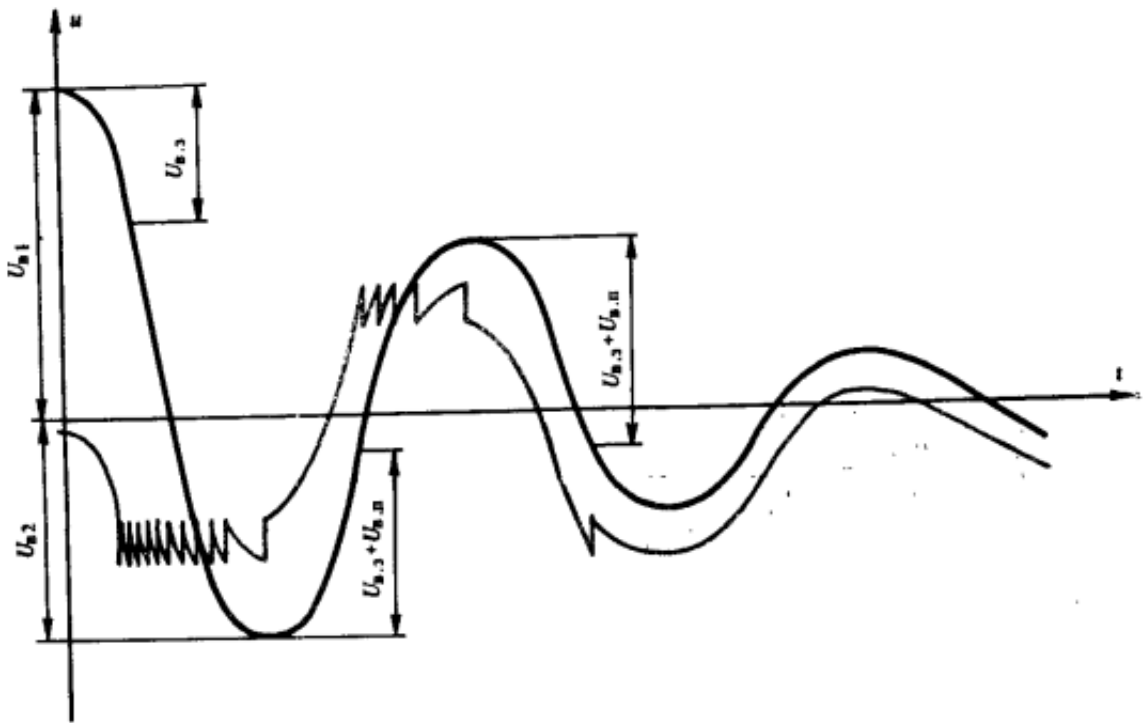


Рисунок 1.7 – Развитие частичных разрядов в изоляции при импульсном напряжении [2]

В дальнейшем после возобновления ЧР разряды в рассматриваемой области диэлектрика, по-прежнему, повторяются через промежутки времени, соответствующие изменению напряжения на емкости  $C_B$  на  $\Delta U_B$ .

Так как в большинстве случаев в изоляции имеют место различные включения с различными значениями величин  $U_{вз}$  и  $U_{вп}$ , то с ростом амплитуды напряжения увеличивается не только количество ЧР в каждом включении, но и количество мест (включений), в которых возникают разряды.





## **1.5. Выводы и постановка задач на исследование**

Подводя итог литературному обзору, можно заключить следующее:

1. При эксплуатации любого электрического оборудования в рабочих режимах существуют частичные разряды, однако их разрушающая способность может различаться. Частичные разряды опасны тем, что приводят к постепенному разрушению изоляции и возникновению электрического пробоя.

2. Диагностика частичных разрядов в настоящее время испытывает трудности в связи с отсутствием объективных методов их обнаружения. В связи, с этим была предпринята попытка разработки нового метода при помощи подачи импульса-напряжения с крутым фронтом.

3. Необходимо разработать и смонтировать учебно-экспериментальный стенд для обнаружения частичных разрядов импульсным напряжением.

С учетом вышеприведенных выводов задачами данной работы являются:

1. Разработка и монтаж учебно-экспериментального стенда для обнаружения частичных разрядов импульсным напряжением.

2. Отработка методики испытаний образцов на предмет наличия частичных разрядов.

3. Проведение сравнительных испытаний между пропитанными и не пропитанными образцами на наличие частичных разрядов.

## Глава 2. Методическая часть

### 2.1. Подготовка образцов для испытания

Подготовка образцов осуществляется путем просмотра бумаги КОН-2 под микроскопом Digital Microscope USB 800X и дальнейшей намотки секций конденсатора. Под микроскопом выявляются включения (Рисунок 2.1), в этих местах, с пониженной прочностью, возможно появление начальных частичных разрядов. Развиваясь, эти включения, могут изменять форму, размер, а так же вблизи этих включений возможно появление новых, более мелких, включений. Просмотр бумаги проходит не по всей ширине бумаги, а только по той части, где происходит перекрытия контактов.

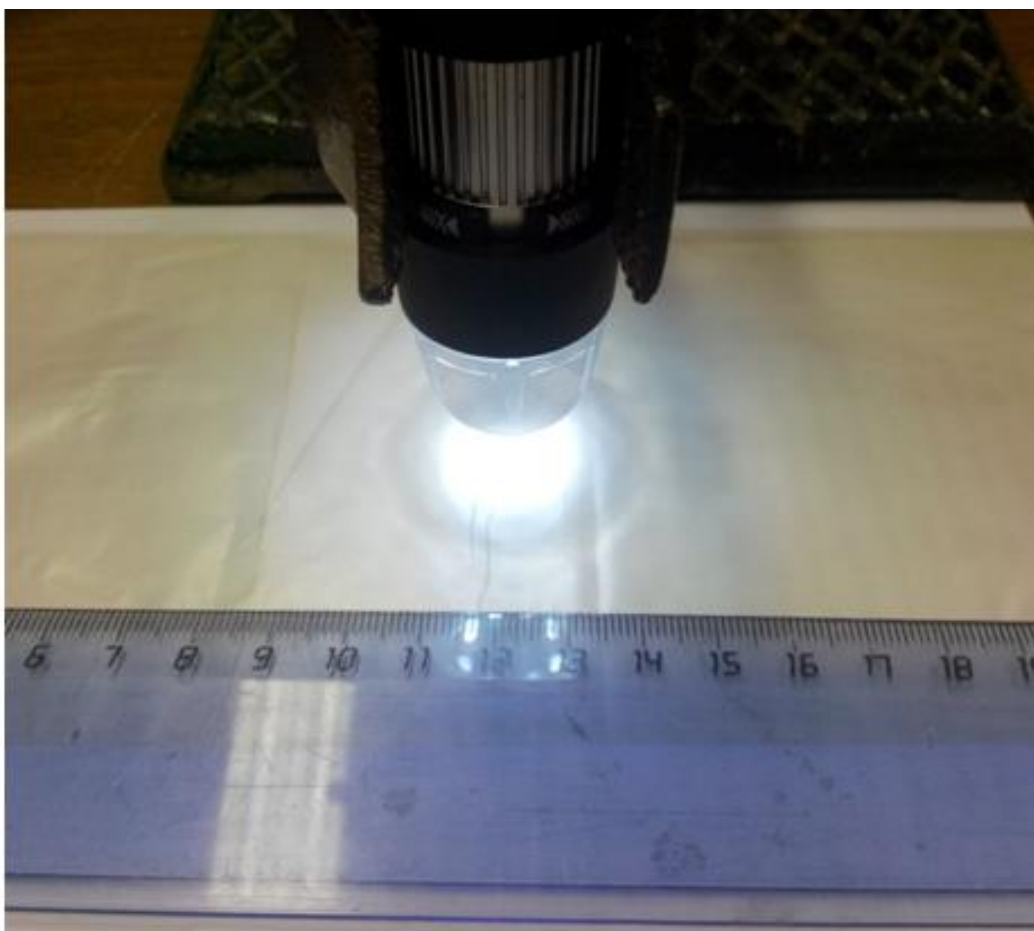


Рисунок 2.1 – Просмотр бумаги КОН-2 под микроскопом

Согласно [2] электрическая изоляция неоднородна или содержит в результате технологических операций при изготовлении проводящие включения, что приводит к неоднородности электрического поля и его повышенной напряженности в таких зонах. Таким образом, просмотр бумаги перед намоткой позволяет выявить такие включения, где возможны возникновения частичных разрядов. Включения имеют различные формы, а размеры таких включений составляют порядка 0,2-0,5 мм. Пример таких включений приведен на рисунке 2.2.

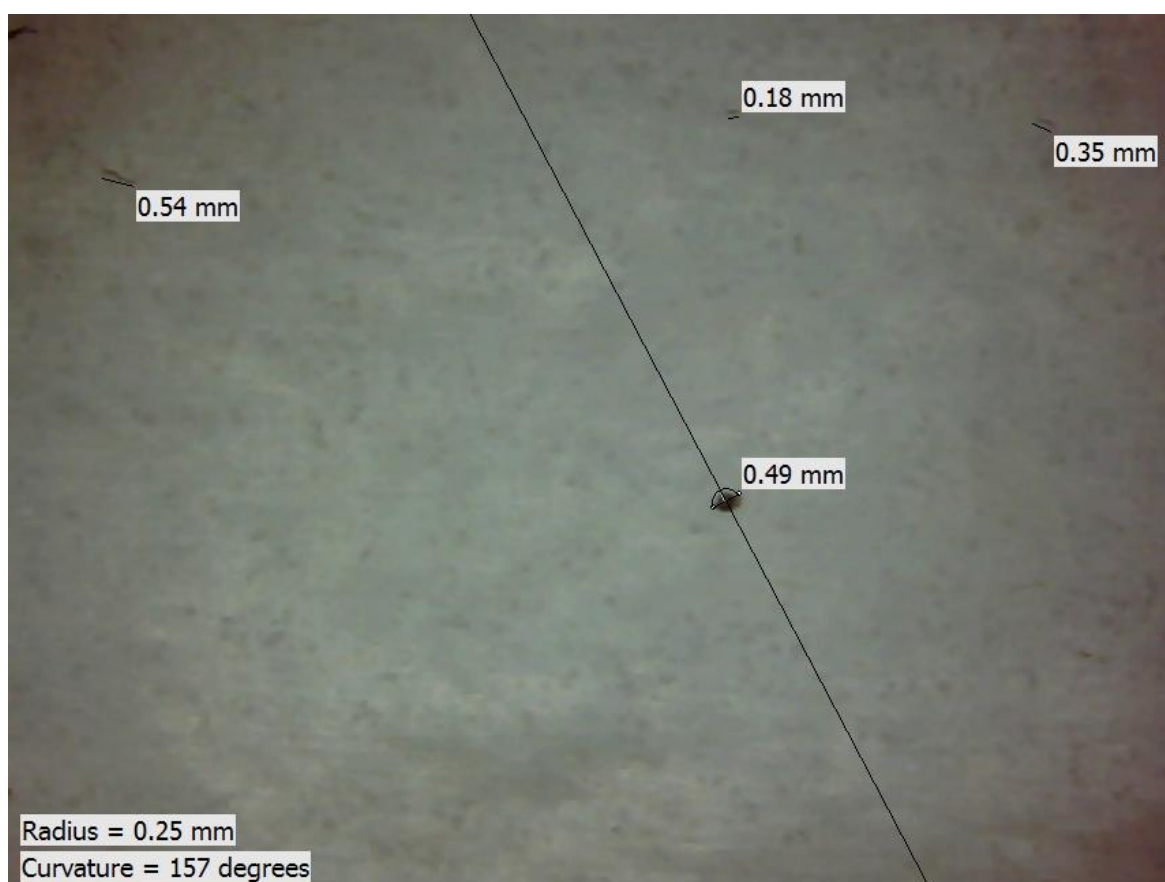


Рисунок 2.2 – Фрагмент конденсаторной бумаги с включением

Намотка конденсаторных секций проводится на специальных намоточных станках из лент бумаги и алюминиевой фольги, сматывающихся с рулонов, закрепленных на осях станка. При намотке используются оправка большого диаметра (20 - 60) мм, а для получения стабильности емкости, необходимой для стабильности частоты контура, нужно также сильно сжать конденсаторные секции. Из всех стадий изготовления силовых

конденсаторов наиболее ответственными являются намотка конденсаторных секций, поскольку в это время вся масса диэлектрика непосредственно соприкасается с окружающей средой. Брак при намотке (обрыв ленты или фольги, складки, морщины, перекосы лент) может стать причиной пробоя одной из секций конденсатора в условиях эксплуатации. Устройство для намотки изображено на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Устройство для намотки конденсаторных секций

## 2.2. Пропитка испытуемых образцов

Пропитка полезна как вследствие того, что пропитанные конденсаторные секции при умеренной влажности сохраняют свои электрические свойства в течение того небольшого времени, которое необходимо для процесса сборки конденсатора, так и потому, что после пропитки заметно возрастает электрическая прочность конденсатора. Для пропитки конденсаторных секций использовалось конденсаторное масло, увеличивающее диэлектрическую проницаемость бумажного диэлектрика и его электрическую прочность, что позволяет уменьшать габариты, массу и стоимость конденсатора. Конденсаторное масло может быть нефтяное или вазелиновое и обладает повышенной чистотой. Перед пропиткой секций конденсатора проходят подготовительный этап – сушку. Основной задачей сушки является максимальное удаление воды, содержащейся в конденсаторе.

Сушка и пропитка бумажных конденсаторов является наиболее ответственными этапами технологии, от которых зависит качество готовых конденсаторов. На данных стадиях производства высокие требования предъявляют не только к чистоте рабочего места, технологического оборудования, оснастки и деталей, но и к устройству помещений и личной гигиене работающих.

Улучшение степени сушки может быть достигнуто только за счет дополнительного повышения температуры или снижении остаточного давления. Таким образом, для максимального ускорения сушки и максимального удаления влаги из бумажного конденсатора сушку его надо вести при максимально возможной температуре и минимально возможном остаточном давлении в сушильном баке. Если провести предварительную сушку в отдельной печи при атмосферном давлении, а затем в вакууме, то время сушки уменьшается. Обычная сушка при атмосферном давлении производится при  $t_{\text{сушки}}=135\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течении 16 часов.



Рисунок 2.4 – Бак для сушки и пропитки секций конденсатора

Пропитка производится в том же баке, что и сушка, сразу же после ее окончания. Важно чтобы во все время впуска массы в сушильно-пропиточном баке поддерживалось постоянное  $P_{\text{ост}}$  для лучшего всасывания массы в поры бумаги. Ход процесса наблюдают по изменению емкости конденсатора от времени. Прекращение увеличения емкости указывает на максимально возможную пропитку.

Температура пропитки должна быть такова, чтобы обеспечить малую вязкость пропиточной массы и отсутствие окисления пропиточной массы. Для маловязких масел обычно применяют температуру пропитки порядка 70 – 80 °С; для более вязких 110 – 120 °С (например, касторовое масло). Время пропитки значительно меньше времени сушки и даже для больших силовых конденсаторов редко превышает 10 – 12 часов.

## **Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Одной из причин выхода из строя электродвигателей постоянного тока является повреждение изоляции из-за воздействия на нее частичных разрядов, методики обнаружения которых в двигателях постоянного тока к настоящему времени не разработано. Для своевременного предупреждения выхода из строя машин постоянного тока и снижения затрат на unplanned остановки, по замене вышедшего из строя электродвигателя, предлагается выявлять частичные разряды на ранней стадии.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности разработанного метода с экономической точки зрения.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести анализ существующих методов обнаружения ЧР и планируемого рынка сбыта.
- Оценить конкурентоспособность инженерного решения.
- Разработать план и график по внедрению метода в эксплуатацию, составить смету расходов.
- Показать экономическую эффективность и целесообразность разработанного метода.

## 4.1. Предпроектный анализ

### 4.1.1. Потенциальные потребители исследования

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что недостаточная оценка рынков сбыта производимой продукции является одной из главных причин несостоятельности многих проектов. Необходим глубокий анализ спроса на продукцию, которую предполагается выпускать, определить, в каких объемах и по какой цене его купят. Определив спрос, устанавливают максимальный объем производства, который предприниматель сможет осуществить с учетом своих потенциальных возможностей.

#### *Анализ рынка*

##### 1. Тип рынка:

а) Основной рынок: заводы-изготовители электрических машин Томской области (ОАО «Сибэлектромотор», ФГУП «Томский электротехнический завод», НПО «Элсиб», ООО «СЭТК», ООО «Сибирский машиностроитель», ЗАО «ТОМЗЭЛ»).

б) Потенциальный рынок: предприятия Западно-Сибирского и других регионов РФ.

##### 2. Размеры рынка сбыта:

а) Географическая зона: город Томск, Томская область, Западно-Сибирский регион, выход на рынки РФ (прогноз).

б) Прогнозируемые темпы роста рынка: растущий рынок (развитие отрасли, повышение спроса).

##### 3. Целевые сегменты рынка:

а) Тип покупателей: промышленные предприятия, предприятия оптовой и розничной торговли.

б) Характеристика покупателя – предприятия:

- по отрасли (электротехника, машиностроительное предприятие);
- по текущему состоянию отрасли (устойчивая отрасль);



- по размеру (крупное предприятие свыше 300 человек);
- по типу производства (серийное);
- по потребности в оборудовании (замена изношенных приборов и устройств, модернизация техники).

4. Прогнозный объем продаж и его изменения, связанные с:

а) Временными колебаниями: циклические колебания (обновление товара каждые 2-3 года, расширение номенклатуры); объем формируется в процессе заказов, зависит от потребности.

б) Формирующимися тенденциями потребления: стимулирование сбыта (индивидуальный подход к потребителям, гарантийное обслуживание, скидки постоянным клиентам, сравнение с зарубежными аналогами – в России аналогов нет); проведение активной рекламы, участие в научных выставках и конференциях.

#### *Анализ конкурентов*

На территории Российской Федерации конкуренты отсутствуют. Существуют зарубежные аналоги: основной производитель – компания OMICRON (Австрия). Цена их продукции высока, кроме того отдельно оплачивается доставка, необходимо проходить таможенный контроль, что сказывается на увеличении сроков доставки. Поэтому их продукция мало используется российскими потребителями.

#### *Ценообразование*

1. Тип рыночной ситуации и соответствующая ценовая политика:

Внедрение нового товара – установление максимально высокой цены, так называемой цены «снятия сливок».

#### *Методы стимулирования продаж*

1. Стимулирование потребителей:

а) Поставки товара для опытной эксплуатации в расчете на покупку крупной партии.

б) Участие в выставках-продажах, ярмарках.

2. Стимулирование сферы торговли.

Предоставление рекламных материалов.

### *Реклама*

1. Реклама для успешного продвижения товара на рынок:

а) Информативная реклама – предназначена для ознакомления потенциального покупателя с товаром-новинкой, а также для снижения барьера недоверия к данному товару.

б) Избирательная реклама – ориентирована на определенный сегмент рынка (производителей электрических машин, трансформаторов).

с) Подкрепляющая реклама – цель которой состоит не в том, чтобы убедить покупателя сделать покупку, а в том, что он поступил правильно, купив именно этот товар (данная продукция повышает надежность вашего оборудования).

2. Средство массовой информации, с помощью которого рекламируется продукция:

а) Рассылка рекламных писем-предложений отдельным покупателям, в основном производственным предприятиям.

б) Рекламные объявления в газетах и журналах, специализированных бюллетенях и отраслевых журналах, сайтах.

с) Издание рекламных буклетов, проспектов и брошюр.

д) Рекламные мероприятия (презентация товара, демонстрационные выставки).

3. Оптимальный размер расходов на рекламу в зависимости от типа выпускаемой продукции и отрасли:

Расходы на рекламу товаров производственно-технического назначения, как правило, не превышают 2-3% от объема продаж, так как имеет место прямой контакт с покупателем (выставки, журналы, визиты торговых представителей или менеджеров по сбыту).

#### 4.1.2. SWOT – анализ

SWOT-анализ — метод стратегического планирования, используемый для оценки факторов и явлений, влияющих на проект или предприятие. Все факторы делятся на четыре категории: strengths (сильные стороны), weaknesses (слабые стороны), opportunities (возможности) и threats (угрозы). Метод включает определение цели проекта и выявление внутренних и внешних факторов, способствующих её достижению или осложняющих его.

Таблица 4.1 – Матрица SWOT-анализа

	<b>Strengths</b> ( <i>свойства проекта, дающие преимущества перед другими в отрасли</i> ) <ol style="list-style-type: none"><li>1. Уникальность продукции.</li><li>2. Востребованность.</li><li>3. Отсутствие конкурентов (нет аналогов в РФ).</li><li>4. Возможность проводить испытания доказывающие преимущества продукции.</li><li>5. Возможность совершенствования технологий, улучшения качества продукции.</li><li>6. Возможность участвовать в конференциях выставках, использовать интернет-ресурсы в целях рекламы.</li><li>7. Тесное сотрудничество с производителем продукции.</li><li>8. Разработки осуществляются при непосредственном участии ТПУ</li></ol>	<b>Weaknesses</b> ( <i>свойства, ослабляющие проект</i> ) <ol style="list-style-type: none"><li>1. Низкая информированность потенциальных потребителей/</li><li>2. Повышенная рыночная стоимость товара.</li><li>3. Пассивность целевой группы.</li><li>4. Информационные материалы могут быть использованы конкурентами.</li></ol>
--	--	---

Продолжение таблицы 4.1

<p><b>Возможности:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Расширение круга клиентов, географической зоны.</li> <li>2. Распространение рекламы.</li> <li>3. Четко налаженные поставки.</li> </ol>	<p>Выход на новые рынки – репутация, гибкая ценовая политика, активная роль маркетинга, уникальность. Расширение производства – активная роль маркетинга, высокий профессионализм.</p>	<p>Низкая информированность – активная реклама. Низкая прибыльность, дополнительные издержки – выход на новые рынки.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низкий уровень входа на рынок.</li> <li>2. Появление конкурентов.</li> <li>3. Ухудшение экономической ситуации и уменьшение целевой аудитории.</li> <li>4. Ужесточение условий сертификации.</li> </ol>	<p>Появление новых конкурентов – гибкая ценовая политика, активная роль маркетинга, репутация, акции. Низкий уровень входа на рынок – возможность участвовать в конференциях, выставках, использовать интернет-ресурсы в целях рекламы. Ужесточение условий сертификации – содействие ТПУ.</p>	<p>Низкая информированность потенциальных потребителей – Низкий уровень входа на рынок. Появление конкурентов - повышенная рыночная стоимость товара. Ухудшение условий поставок – сокращение потенциальных потребителей.</p>

Таким образом, чтобы поднять спрос на новый вид продукции, необходимо всесторонне информировать потенциальных клиентов путем проведения рекламных компаний. Нарботанная связь с поставщиками материала обеспечивает своевременное и гарантированное обслуживание.

## 4.2. Планирование управления научно-техническим проектом

### 4.2.1 Иерархическая структура работ проекта

На рисунке 4.1 представлена иерархическая структура работ по данному проекту.

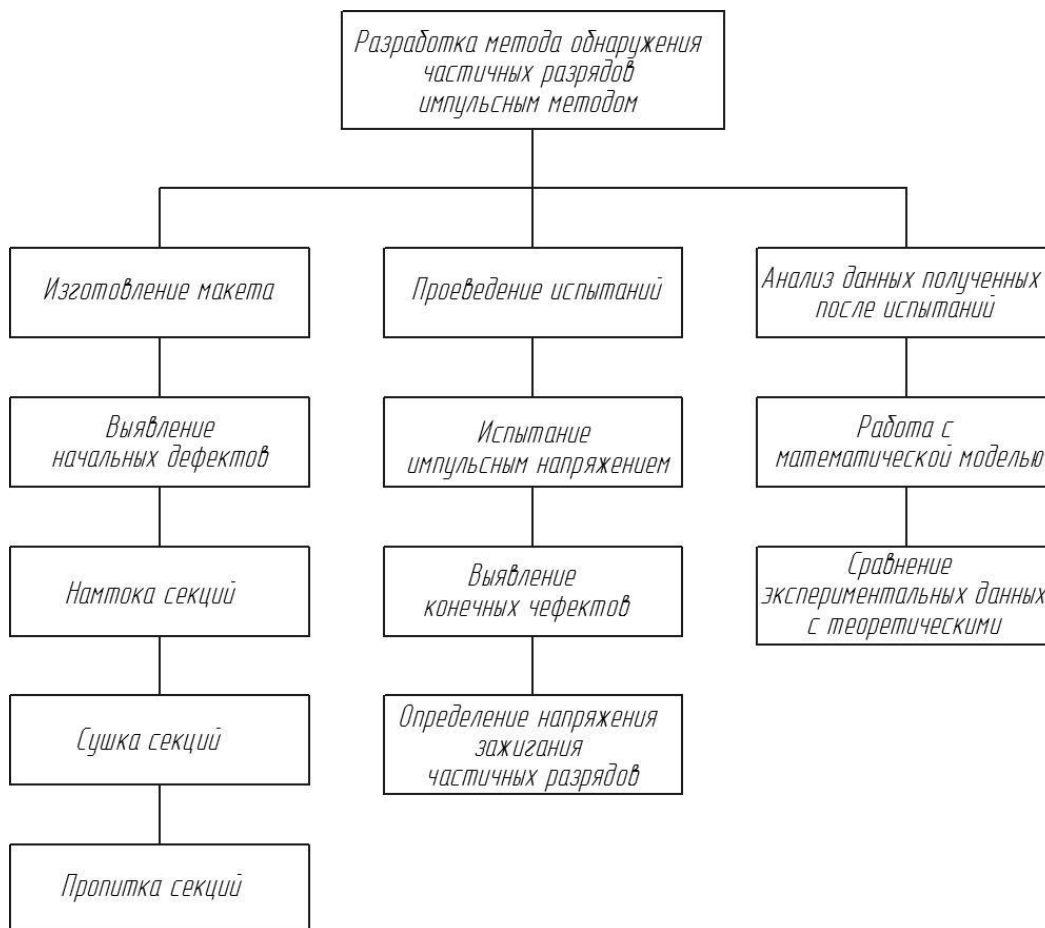


Рисунок 4.1 –Иерархическая структура работ

#### 4.2.2. План проекта

Линейный график проекта представлен в виде календарного плана.

Таблица 4.2 – Календарный план

№ работ	Вид работ	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Проектирование установки	21	8.09.14	29.09.14	Лавринович В.А.
2	Сборка установки	28	30.09.14	27.10.14	Чипурнов М. А.
3	Намотка секций	1	27.10.14	28.10.14	Чипурнов М. А.
4	Пропитка секций	2	28.10.14	30.10.14	Чипурнов М. А. Стругов В. В.
5	Сушка секций	1	30.10.14	31.10.14	Чипурнов М. А. Стругов В. В.
6	Проведение испытаний	509	1.11.14	23.03.16	Чипурнов М. А. Стругов В. В.
7	Анализ полученных результатов	1	23.03.16	24.03.16	Чипурнов М. А.
8	Работа с математической моделью	17	24.03.16	10.04.16	Чипурнов М. А.
9	Получение данных о влиянии ЧР	2	10.04.16	12.04.16	Чипурнов М. А.
	Итого	597			

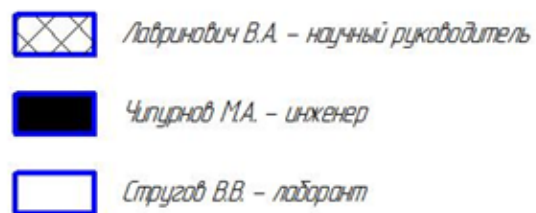
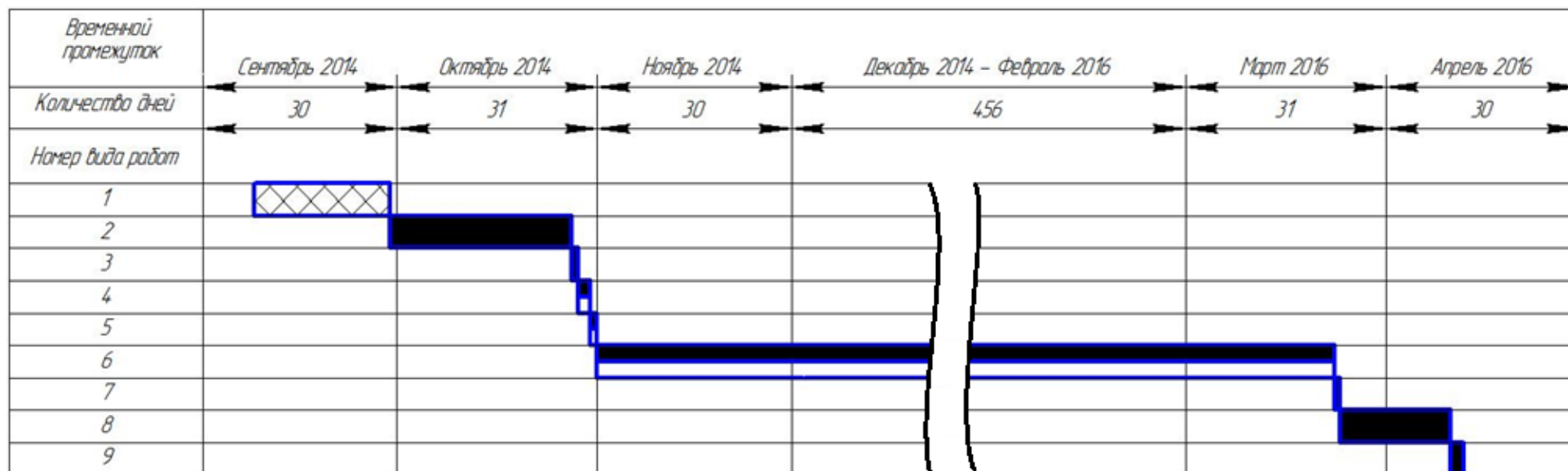


Рисунок 4.2 – Календарный план-график проведения НИ

### 4.2.3. Бюджет научного исследования

#### Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. Результаты по данной статье приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед.,руб.	Затраты на материалы, руб.
Перчатки	Пара	2	15	36
Нож	Штука	2	30	72
Кусачки	Штука	1	200	240
Провод ПЭТД-180	Кг	1	400	480
Конденсатор ИМП 100-0,1	Штука	1	16 857	16 857
Осциллограф TBS1000B	Штука	1	84 728	84 728
Итого по статье $C_m$				102413



## Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.4

Таблица 4.4 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарботная плата приходящая на один чел.-дн., тыс с. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладу), тыс. руб
1	Проектирование установки	Научный руководитель	21	1047,8	22003,8
2	Создание установки	Инженер	28	163,3	4572,4
3	Намотка секций	Инженер	1	163,3	163,3
4	Пропитка секций	Инженер Лаборант	2	163,3 466,9	326,6 933,8
5	Сушка секций	Инженер Лаборант	1	163,3 466,9	163,3 466,9

Продолжение таблицы 4.4

6	Проведение испытаний	Инженер Лаборант	509	163,3 466,9	83425,1 237652,1
7	Анализ полученных результатов	Инженер	1	163,3	163,3
8	Работа с математической моделью	Инженер	17	163,3	2776,1
11	Работа с математической моделью	Инженер	2	163,3	326,6
9	Получение данных о влиянии ЧР	Инженер	21	163,3	3429,3
Итого: 356402,6					

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.1)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}, \quad (4.2)$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	52	52	52
- праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени			
- отпуск	56	56	28
- невыходы по болезни	14	17	20
Действительный годовой фонд рабочего времени	229	226	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.3)$$

где  $Z_{tc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{tc}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель	31434	0,3	0,15	1,3	59253	2846	229	66363,36
Инженер	4899	0,3	0,5	1,3	11464	507	226	12839,68
Лаборант	14007	0,3	0,3	1,3	32776	1306	251	36709,12
Итого								115912,16

Тарифные ставки были приняты на основании данных опубликованных в [7].

### Отчисления на социальные цели

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.4)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (27,1 %) на пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.

Таблица 4.7 – Отчисления на социальные цели

<b>Исполнитель</b>	<b>Основная заработная плата, руб.</b>	<b>Дополнительная заработная плата, руб.</b>
Научный руководитель	59253	9480,48
Инженер	11464	1375,68
Лаборант	32776	3933,12
Коэффициент отчислений	27,1 %	
<b>Итого</b>		<b>150336,78</b>

## Амортизация оборудования

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

Таблица 4.8 – Стоимость оборудования

Наименование	Цена
ПК	45000
Программное обеспечение	15000
<b>Итого</b>	<b>100000</b>

$$A = (H_a / T_{исп-я}) \cdot C_{обор-я} = (1 / 2 \text{ лет}) \cdot 70000 \text{ руб} = 35000 \text{ руб/год} \quad (4.5)$$

## Накладные расходы

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

$$C_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 - 4) \cdot k_{\text{накл}} = 285379,7 \cdot 0,16 = 45660,75 \quad (4.6)$$

где  $k_{\text{накл}}$  — коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов принимаем равным 16%.

## Формирование бюджета затрат на научное исследование

Величина затрат научного исследования является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Бюджет затрат на НИ

Наименование статьи	Примечание	
	Рублей	%
1. Материальные затраты	102413	30,93
2. Заработная плата	115912,16	35,01
3. Отчисления на социальные цели	32054,5	9,68
4. Амортизация оборудования	35000	10,57
5. Накладные расходы	45660,75	13,79
6. Бюджет затрат НИ	331040,41	100

### 4.3. Определение ресурсной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Так как определение финансовой эффективности не представляется возможным в данном случае, произведем оценку ресурсоэффективности научной разработки. Сравнение разработанного метода было произведено с двумя ближайшими аналогами.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.7)$$

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

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

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлены в форме таблицы.

Таблица 4.10 - Оценка ресурсной эффективности НИ

Критерии \ Объект исс-ия	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 Импульсный метод	Исп.2 Акустический метод	Исп.3 Высокочастотный метод
Надежность работы	0,139	4	3	4
Габаритные размеры	0,184	5	5	4
Технические характеристики	0,158	5	4	3
Ремонтопригодность	0,186	3	2	3
Простота изготовления	0,222	5	4	3
Простота обслуживания	0,111	4	4	5
ИТОГО	1	4,75	3,67	3,54



#### **4.4. Вывод по главе**

В ходе проделанной работы был выполнен анализ и планирование комплекса работ в рамках научного исследования. Определена структура работ, а также произведено распределение исполнителей. По результатам расчетов было установлено, что длительность работ в календарных днях для руководителя составляет 21 день, а для инженера и лаборанта 580 дней. Сумма бюджета затрат НИИ составила 331 тысяча рублей. В бюджет входят: материальные затраты, заработная плата, отчисления на социальные цели, накладные расходы. Самые большие отчисления (35%) приходятся на заработную плату. С точки зрения ресурсной эффективности, для решения поставленной в магистерской работе технической задачи был выбран наиболее подходящий и выгодный вариант, так как именно он имеет наибольший интегральный показатель ресурсоэффективности (4,75).

## Список публикаций

1. Чипурнов М. А. Обнаружение частичных разрядов импульсным методом // XLI Студенческая международная научно-практическая заочная конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ». науч.-практич. конференции, 2016.