

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

Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра ЭЭС

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Отыскание латентных дефектов диэлектрических пленок для производства конденсаторов

УДК 621.319.4:678.026:620.179.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2B	Рахимов Рафаэль Саматович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры Электроэнергетических систем	Лавринович В.А.	Доктор технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Высоковольтные испытательные установки и измерения»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры Электроэнергетических систем	Лавринович В.А.	Доктор технических наук		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	Кандидат технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О	Кандидат технических наук		

Томск – 2016 г.

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

Институт ЭНИН
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра Электроэнергетических систем (ЭЭС)

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

_____ А.О. Сулайманов
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5А2В	Рахимову Рафаэлю Саматовичу

Тема работы:

Отыскание латентных дефектов диэлектрических пленок для производства конденсаторов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2.02.2016, №653/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Спроектировать установку для поиска сквозных и латентных дефектов в диэлектрическом покрытии с параметрами: <ol style="list-style-type: none"> 1. Напряжение источника $U_{ист} = 0 \div 15 \text{ кВ}$ 2. Ток коронного разряда $I_{кор} = 0 \div 150 \text{ мкА}$ 3. Габариты рабочей зоны системы острие-плоскость 30x40 см
Перечень вопросов подлежащих исследованию, проектированию и разработке	Определить возможность поиска латентных дефектов диэлектрических пленок для производства конденсаторов. Сконструировать установку, способную осуществлять поиск сквозных и латентных дефектов диэлектрических пленок. Произвести эксперименты для установления параметров и механизмов поиска латентных дефектов диэлектрических пленок. К дополнительным вопросам относятся раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в котором производится технико-экономическое обоснование исследовательской работы, а также раздел «Социальная ответственность», в котором рассматриваются проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности.

Перечень графического материала		
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Высоковольтные испытательные установки измерения	Лавринович В.А., доктор технических наук	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Н.В., старший преподаватель кафедры менеджмента	
Социальная ответственность	Романцов И.И., кандидат технических наук кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры Электроэнергетических систем	Лавринович В.А.	Доктор технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2B	Рахимов Рафаэль Саматович		

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

Студенту:

Группа 5A2B		ФИО Рахимов Рафаэль Саматович	
Институт		Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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>	- Стоимость материальных ресурсов - определялась по средней стоимости по г. Томску - Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- 30 % премии; - 20 % надбавки; - 16% накладные расходы; - 30% районный коэффициент;
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-27,1% отчисления на социальные нужды.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения</i>	- оценка эффективности научного исследования экспертная оценка поставщиков.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: -определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат НИ: - материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. <i>Оценка перспектив внедрения технологии (установки)</i>	Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Экспертная оценка поставщиков
2. График Ганта
3. Календарный план-график
4. Бюджет НИ
5. Определение ресурсосберегающей и экономической эффективности исследования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2B	Рахимов Рафаэль Саматович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа объемом 97 страниц, 32 рисунка, 21 таблица, 19 использованных источников.

Ключевые слова: диэлектрическая пленка, коронный разряд, латентный дефект, обратная корона, искровой пробой.

Объектом исследования является метод поиска латентных дефектов диэлектрических пленок для производства конденсаторов.

Цель работы – проведение исследований на предмет возможности выявления латентных дефектов диэлектрических пленок для производства конденсаторов методом коронного разряда.

В процессе работы была создана экспериментальная установка. С помощью установки были проведены экспериментальные исследования метода поиска латентных дефектов коронным разрядом.

Результатом проделанной НИР является доказательство возможности поиска сквозных и латентных дефектов методом коронного разряда.

Сконструирована установка, которая работает в диапазоне напряжений 0...30 кВ, тока 0...200 мкА.

Данная установка имеет перспективы внедрения в испытательных лабораториях производственных предприятий.

Внедрение спроектированной установки в производство позволит сократить число бракованных изделий. Причина выхода из строя которых является наличие дефектов в диэлектрических покрытиях.

В процессе работы использовались современные программные продукты Microsoft Word, Excel, T-flex.

Оглавление

Введение.....	7
1. Литературный обзор	9
1.1. Проблема отыскания дефектов в тонких пленках	9
1.2. Существующие методы решения проблемы	10
1.3. Предлагаемый метод решения проблемы.....	11
1.4. Виды дефектов.....	12
1.5. Сведения о коронном разряде	13
1.5.1. Конфигурация электрического поля	13
1.5.2. Атмосферные воздействия	15
1.5.3. Эффект полярности.....	16
1.6. Пробой твердой изоляции	18
1.7. Методы и устройства для измерения высоких напряжения	21
2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	22
2.1. Экспертная оценка поставщиков	22
2.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	24
2.2.1. Структура работ в рамках проектирования.....	24
2.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	25
2.2.3. Разработка графика проведения работ.....	26
2.3. Формирование бюджета затрат. Расчет затрат.....	29
2.3.1. Расчет материальных затрат	29
2.3.2. Зарботная плата исполнителей	30
2.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)....	32
2.3.4. Накладные расходы	32
2.3.5. Формирование затрат научно-исследовательского проекта.....	33
2.3.6. Определение ресурсной эффективности исследования	33

Введение

Явление коронного разряда научному сообществу известно достаточно давно. Существует множество практического и теоретического материала, объясняющего природу и свойство короны. Эти свойства позволяют создавать электрофильтры, медицинское оборудование и т.д. Одним из таких свойств – обратная корона. Нашей научной группой выдвинуто предположение о возможности отыскания латентных дефектов диэлектрических пленок, применяемых в конденсаторостроении, основываясь на этом свойстве коронного разряда.

Пленочные конденсаторы являются одной из важнейших частей пассивной элементной базы любого электронного устройства. Одним из лучшим решением применения данных конденсаторов стало применение их при наличии высокочастотных импульсных токов. Область их применения обширна.

Наиболее важным свойством конденсатора является его срок службы. Все конденсаторы проходят тщательную проверку перед вводом их в эксплуатацию. ГОСТ 28885-90 распространяется на конденсаторы, предназначенные для применения в электронной аппаратуре, и устанавливает общие требования к методам измерения электрических параметров конденсаторов, к методам их испытаний, требованиям к конструкции, используемым в стандартах или технических условиях на конденсаторы конкретных типов. Данный ГОСТ содержит 21 вид испытания конденсаторов [1].

Несмотря на существующие требования и технические регламенты, конденсаторы выходят из строя. Одной из основных причин выхода из строя являются дефекты в пленочной изоляции.

Предлагаемый нами метод, в случае успешных испытаний, позволит выявлять сквозные и латентные дефекты в конденсаторных пленках, что в свою очередь может привести к снижению числа конденсаторов, поступающих в эксплуатацию с невыявленными дефектами.

Целью данной работы является определение возможности поиска сквозных и латентных дефектов диэлектрических пленок методом коронного разряда.

Для выполнения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Выполнить литературный обзор
2. Спроектировать установку
3. Произвести эксперименты

1. Литературный обзор

1.1. Проблема отыскания дефектов в тонких пленках

Конденсаторы с твёрдым органическим диэлектриком бывают бумажные, металлобумажные, плёночные, комбинированные – бумажноплёночные, тонкослойные из органических синтетических пленок. Среди плёночных конденсаторов есть: Полиэтилентерефталатные конденсаторы, полиамидные конденсаторы, каптоновые конденсаторы, поликарбонатные конденсаторы, полисульфоновые конденсаторы, полипропиленовые конденсаторы, полистирольные конденсаторы, фторопластовые конденсаторы, металлизированные полиэтилентерефталатные и поликарбонатные конденсаторы.

Плёночные конденсаторы являются одной из важнейшей части пассивной элементной базы любого электронного устройства. Одним из лучшим решением применения данных конденсаторов стало применение их при наличии высокочастотных импульсных токов. Область их применения обширна.

Особенностями плёночных конденсаторов являются:

- Способность к самовосстановлению
- Высокая тепловая стабильность
- высокая стабильность ключевых электрических параметров при изменении приложенного напряжения;
- низкое эквивалентное последовательное сопротивление (ESR) и высокая нагрузочная способность по переменному току (за счет чего уменьшается самонагрев во время работы);
- механические и электрические параметры конденсаторов серий МКТ и МКР удовлетворяют требованиям отраслевых стандартов IEC 60384-2, IEC 60384-16 и IEC 60384-14.

В плёночных конденсаторах, в качестве диэлектрика используются высокомолекулярные тонкие синтетические пленки. Благодаря свойствам современных пленок можно получать конденсаторы с малыми габаритами. В качестве диэлектрика могут применяться полистерол, фторопласт,

полиэтилентерефталат, комбинированное сочетание полярных и неполярных пленок, поликарбонат.

На данный момент существует такая проблема, как выход из строя пленочных конденсаторов. Как правило, пленочные конденсаторы в своей эксплуатации очень надежны, но зачастую случаются и поломки. Одна из проблем, из-за которых выходят из строя конденсаторы с пленочной изоляцией – это пробой пленки [2].

На сегодняшний день одним из методов контроля является метод контроля толщины данного материала. Однако данный метод контроля не проверяет сплошность покрытия [3].

На покрытии конденсаторной пленки могут быть трещины, дыры, как малых, так и больших размеров различных форм, также возможны и уменьшение толщины пленки, что тоже играет роль на электрической прочности пленки.

Также одной из причин выхода из строя пленочных конденсаторов может быть наличие пузырьков между слоями пленки, которые возникают при намотке слоев пленки.

Все выше перечисленные проблемы, приводят со временем к пробую конденсатора и выхода его из строя.

1.2. Существующие методы решения проблемы

Существуют установки, которые позволяют находить дефекты в покрытиях так называемым “искровым методом”, однако у них есть существенный недостаток – это искра, которая во многих случаях недопустима и может повредить испытуемый образец, в частности диэлектрическую пленку. Методы, которые пытаются применить в этой области, исключают повреждение пленки, не имеют достаточной разрешающей способности по месторасположению дефекта и ограничены по возможности обнаружения отверстий размером менее 0,3 мм.

В источнике приводятся данные о нахождении несплошности диэлектрических покрытий и их моделировании с помощью коронного разряда, переходящего в искровой разряд. Существенный недостаток этой установки

заключается в том, что коронирующий электрод соприкасается с диагностируемой диэлектрической поверхностью и в случае приближения к несплошности покрытия происходит искровой пробой между коронирующим электродом и заземленной металлической подложкой. Возникающий при этом ток разряда приводит к разрушению диэлектрического покрытия и вызывает эрозию металлической подложки [4-6].

Для отдельных видов оборудования, например, для конденсаторной техники, такие воздействия могут приводить к выходу из строя элементов изоляции диэлектрической пленки, поэтому в этой отрасли поиск дефектов не проводится. Например, дефектоскоп "Корона 2.2" позволяет выявлять несплошности диэлектрических покрытий за счет искрового пробоя между электродом-щупом и металлической подложкой. Электроискровой принцип контроля сплошности диэлектрических покрытий так же реализован в ряде запатентованных установок [7]. К недостаткам электроискрового метода можно отнести:

1. контакт щупа с поверхностью тестируемого диэлектрического покрытия.
2. регистрация дефекта по факту пробоя.
3. невозможность обнаружения латентные дефектов без разрушения покрытия.
4. напряжение на щупе от 20 кВ и выше.
5. большие токи в случае пробоя – от сотен мкА до мА.

При практической эксплуатации это делает невозможным применение данного метода и установки, основанной на этом же принципе, в качестве дефектоскопа для тонких пленок и печатных плат, изоляционных покрытий обмоток двигателей и трансформаторов.

1.3. Предлагаемый метод решения проблемы

Одним из способов решения данной проблемы является метод, основанный на применении коронного разряда. Данный метод позволяет без контакта с поверхностью диагностировать сплошность диэлектрических

покрытий, а также выявлять различные дефекты. Метод можно отнести к методам неразрушающего контроля.

К достоинствам метода неразрушающего контроля (МНК) можно отнести:

- Дешевизна контроля
- Высокая скорость контроля
- Высокая надежность контроля
- Возможность автоматизации и механизации процесса контроля

1.4. Виды дефектов

Дефекты, которые могут встречаться в тонких диэлектрических покрытиях, можно представить следующим образом (рисунок 1): 1 – сквозные дефекты, 2 – газовые включения, 3 – твердотельные включения инородных материалов, которыми могут быть диэлектрики с большим значением диэлектрической проницаемости, чем диэлектрическое покрытие, или металлические включения (например, металлическая стружка), 4 – зоны с уменьшенной толщиной покрытия, 5 – отслоение и расслоение. Все вышеупомянутые дефекты, за исключением 1-го являются латентными и выявление их представляется нетривиальной задачей.

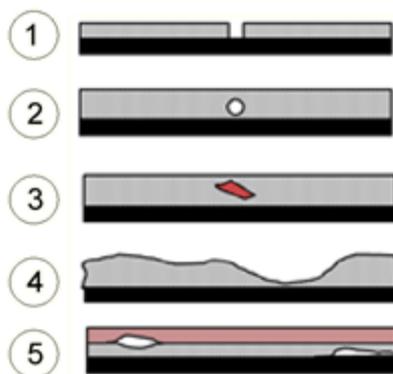


Рисунок 1 – Виды дефектов

Применение коронного разряда в качестве диагностического инструмента, по нашему мнению, позволит исключить перечисленные выше недостатки электроискрового метода: исключить контакт щупа с диэлектрической поверхностью, исключить искровой пробой, обнаруживать

латентные дефекты, снизить до единиц киловольт напряжение на электроде-щупе, снизить токи, протекающие в цепи при диагностировании до нескольких микроампер. Так же отметим, что диэлектрическое покрытие выступает в качестве барьера при наличие латентных дефектов, это приведет к регистрации импульсного тока еще до появления чехла короны [8].

1.5. Сведения о коронном разряде

На сегодняшний день теоретическая и практическая наука накопила достаточно много сведений о коронном разряде, целесообразно рассмотреть факторы, влияющие на коронный разряд, такие как:

- Конфигурация электрического поля
- Атмосферные воздействия
- Эффект полярности

1.5.1. Конфигурация электрического поля

Существует три формы электрических полей: однородное, слабонеоднородное и резконеоднородное. От формы полей зависит пробивное напряжение, а также электрическая прочность. Примером однородного поля является поле между двумя параллельными пластинами, слабонеоднородное поле реализуется в системе шар-шар, а резконеоднородное поле в системе острие-плоскость.

Степень неоднородности электрических полей между электродами характеризуется коэффициентом неоднородности K_n , который равен отношению напряженностей E_{\max} и $E_{\text{ср}}$.

$$K_n = \frac{E_{\max}}{E_{\text{ср}}}$$

Максимальная напряженность зависит от конфигурации поля, размеров электродов, расстояния между ними и приложенного напряжения.

Для однородного поля коэффициент неоднородности $K_n = 1$, для слабонеоднородного - $K_n \leq 3$, а для резконеоднородного - $K_n > 3$.

В нашей установке, о которой пойдет речь далее, используется резконеоднородное поле в системе острие-плоскость.

Процессы разряда в любых резконеоднородных полях ($K_n > 3$) практически одинаковы. Самостоятельный разряд в лавинной форме может быть возникнут при некотором начальном напряжении U_n , т.к. напряженность в области стержня превышает напряженность E_n^* , которая соответствует возникновению самостоятельной форме разряда.

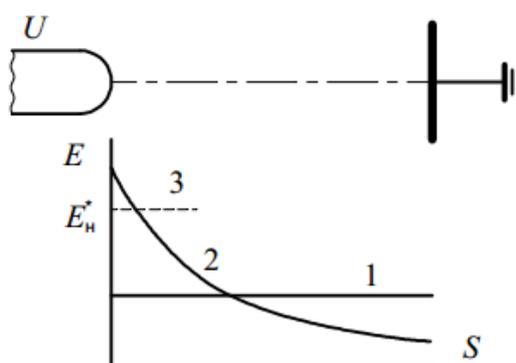


Рисунок 2 – Зависимость напряженности электрического поля от расстояния между электродами типа стержень-плоскость: 1 - $E_{cp} = f(S)$; 2 - $E_{max} = f(S)$; 3 - E_n^* - напряженность возникновения самостоятельной формы разряда

В том случае, если увеличить напряжение больше U_n , то количество электронов возрастет до значений $10^7 - 10^9$ и происходит переход в плазменное состояние, что в свою очередь способствует возникновению стримера у электрода с повышенной напряженностью поля. В резконеоднородном поле в зависимости от напряжения стример может остановиться в межэлектродном промежутке. При это плазма его распадется, но могут возникнуть и новые стримеры вблизи острия, которые впоследствии также останавливаются, и их плазма распадается.

Такой случай, когда стример не может достигнуть противоположного электрода, называется коронным разрядом в стримерной форме. При этом разряд является устойчивым, т.к. выполняется условие самостоятельности разряда.

При дальнейшем повышении напряжения стримерный разряд может перейти в канал, который продвигается от острия к противоположному электроду. В этом случае стримерный канал преобразуется в электрическую дугу и тем самым произойдет завершение пробоя. В резконеоднородных полях напряжение пробоя всегда больше напряжения возникновения коронного разряда в любой его форме [9].

1.5.2. Атмосферные воздействия

Развитие коронного разряда, а также пробивное напряжение зависит от давления, температуры, газа.

$$U_{np} = f(P \cdot S),$$

где P – давление воздуха.

S – расстояние между электродами.

Эту закономерность впервые экспериментально смог обнаружить Фридрих Пашен. Графическая закономерность представлена на рисунке 3

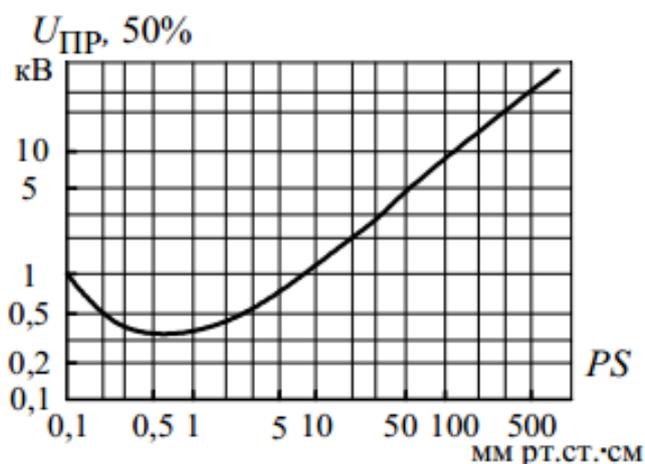


Рисунок 3 – Графическое отображение закона Пашена для воздуха

Вид этой зависимости можно объяснить из физических соображений. При неизменном расстоянии увеличение давления больше значения, соответствующего минимуму, приводит к увеличению числа столкновений электронов с нейтральными атомами и молекулами и к уменьшению его энергии накапливаемой на длине свободного пробега. Отсюда следует, что для возникновения ударной ионизации необходимо увеличение напряжения U_{np} . С

другой стороны, при давлениях меньших, чем минимальное значение, увеличивается длина свободного пробега и накапливаемая энергия электроном, но при этом уменьшается число столкновений, что в свою очередь уменьшает вероятность ударной ионизации. Для ее увеличения необходимо, чтобы как можно больше число столкновений заканчивалось ионизацией. Для этого необходимо увеличивать энергию электрона на длине свободного пробега, т.е. увеличивать U_{np} .

Закон Пашена справедлив при нормальной температуре. Изменение температуры действует обратно изменению давлению.

Экспериментальная кривая Пашена отличается от расчетной как в области очень малых значений PS , так и в области очень больших. При малых значениях PS объясняется приближением к вакуумному пробое. При вакуумном пробое основную роль играют процессы, которые происходят на поверхности электродов, а не в объеме газов. А при больших значениях PS отличие можно объяснить увеличением напряженности электрического поля на микровыступах электродов и увеличением вероятности возникновения лавин, что в свою очередь уменьшает U_{np} [10].

1.5.3. Эффект полярности

В слабонервномерном поле коронное и разрядное напряжение практически совпадают друг с другом и влияние полярности невелико. В сильнонервномерном поле при несимметричных электродах полярность вносит существенное влияние на величину разрядного напряжения.

При положительной полярности электроны движутся к острию в область сильного поля, совершая ударную ионизацию и образуя лавину электронов. Электроны лавины нейтрализуются на аноде, а положительные ионы создают объемный заряд, которое обладает своим собственным электрическим полем. Это поле в свою очередь ослабляет поле вблизи острия и усиливает его в остальной части промежутка (рисунок 4а). При достаточно высоком напряжении между электродами создается зародыш канала анодного стримера, который

заполнен плазмой. Зажигается стримерный коронный разряд. В конечном счете, при проращении стримера до катода, образуется пробой промежутка при малой величине разрядного промежутка.

При отрицательной полярности острия образуется большое число лавин из-за эмиссии электронов с катода и это приводит к ударной ионизации. На пути к катоду электроны теряют свою скорость, т.к. они захватывают нейтральные молекулы, становясь отрицательными ионами, рассеянными в пространстве. А положительные ионы лавины образуют объемный заряд у острия, который увеличивает напряженность у острия и уменьшает в остальной части промежутка (рисунок 4б). С увеличением поля происходит увеличение эмиссии электронов с поверхности катода и образуется у катода зародыш катодного стримера.

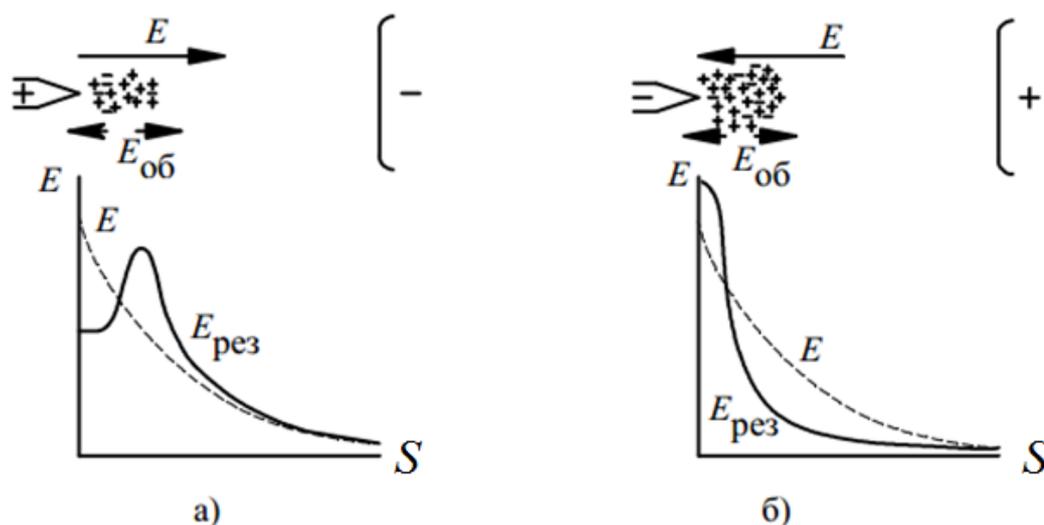


Рисунок 4 – Образование анодного (а) и катодного (б) стримера: E – напряженность внешнего поля; $E_{об}$ – напряженность поля объемного положительного заряда; $E_{рез}$ – результирующая напряженность в промежутке после ионизации

В силу рассмотренных выше особенностей стример с большими трудностями развивается при отрицательном острие, поэтому разрядное напряжение при отрицательной полярности острия больше, чем при положительной полярности в 2-2,5 раза.

На переменном напряжении пробой происходит всегда на положительной полярности.

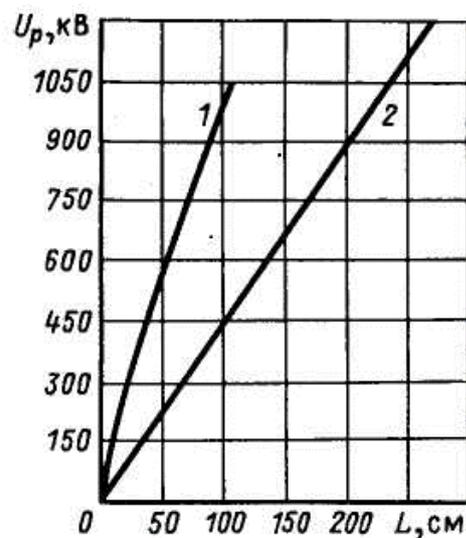


Рисунок 5 – Разрядные напряжения воздушных промежутков стержень – плоскость при отрицательной (1) и положительной (2) полярностях стержня (постоянное напряжение)

Нашей научной группой было принято решение проводить эксперименты при отрицательной полярности острия, т.к. вероятность пробоя при положительной полярности и небольшом расстоянии межэлектродного промежутка выше, чем при отрицательной.

В основу проектируемой установки закладывается принцип безыскрового поиска дефектов, что достигается в соответствии с вышеизложенным материалом при применении отрицательной полярности острия.

1.6. Пробой твердой изоляции

Твердая изоляция имеет большую электрическую прочность чем газ и жидкость. Электрическая прочность твердой изоляции зависит от:

1. Формы электрического поля;
2. Полярности и вида напряжения;
3. Длительности приложенного напряжения;
4. Однородности диэлектрика;
5. Электрофизических характеристик;
6. Температуры.

Полипропиленовые конденсаторные пленки относятся к твердым изоляторам. И в нашей научной работе необходимо было изучить пробой

твердых диэлектриков, чтобы владеть всей необходимой информацией о их поведении в электрическом поле.

Следует рассмотреть три вида пробоя твердых диэлектриков:

1. электрический - $E \sim 10^2 - 10^3$ кВ/мм;
2. тепловой - $E \sim 10 - 10^2$ кВ/мм;
3. старение - $E \sim 10$ кВ/мм и менее.

Важной характеристикой твердой изоляции является ее вольт-временная характеристика. Она показывает зависимость пробивного напряжения от времени приложения напряжения. Она приведена на рисунке 6.

На данной характеристике выделяют 4 зоны. Область *I* и *II* соответствуют электрическому пробую $t < 0,1$ с. Из-за запаздывания развития разряда относительно времени приложения напряжения в области *I* наблюдается резкое возрастание пробивного напряжения. Тепловые процессы играют преобладающую роль в области *III*, наблюдается резкий спад пробивного напряжения. В области *IV* происходит снижение пробивного напряжения. Это связано с медленными процессами старения, деградации твердой изоляции.

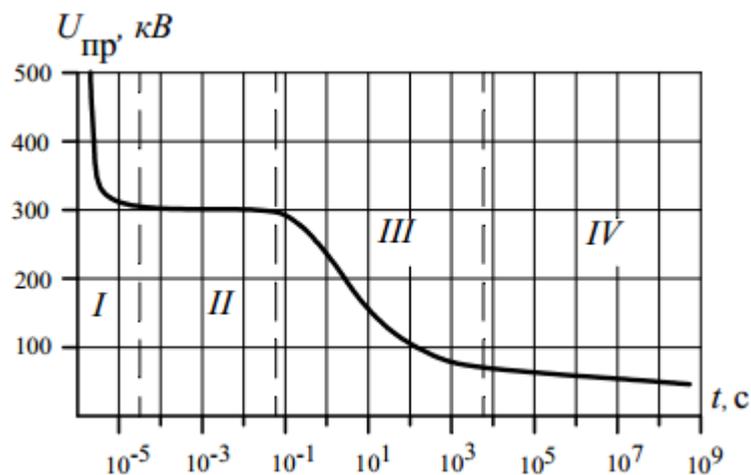


Рисунок 6 – Вольт-временная характеристика твердой изоляции: *I* – электрический пробой, запаздывание развития канала разряда; *II* – электрический пробой, $t < 0,1$ с, не зависит от температуры; *III* – тепловой пробой, $t > 0,1$ с, резкое снижение пробивного напряжения во времени; *IV* – старение, пробивное напряжение мало изменяется, а время до пробоя возрастает значительно

В научной работе были исследованы полипропиленовая пленка и лавсан толщиной 10 мкм.

Электрическая прочность E_{np} твердой изоляции возрастает с уменьшением ее толщины и особенно быстро в области микронных толщин. Этот эффект используется в изоляции конденсаторов, кабелей, вводов и пр.

Влияние температуры показано на рисунке 7. На данной рисунке видно, что при температуре до $75^{\circ}C$ пробивная напряженность фарфора практически не изменяется (область А). Если дальше увеличивать температуру, то происходит резкое уменьшение E_{np} (область Б), что в свою очередь увеличивает вероятность пробоя твердого диэлектрика.

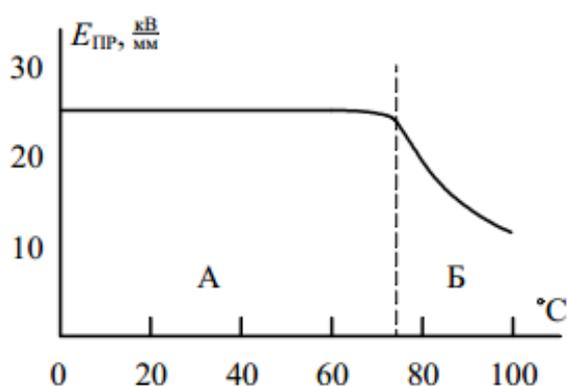


Рисунок 7 – Зависимость пробивного напряжения от температуры для фарфора (частота 50 Гц)

Развитие теплового пробоя твердого диэлектрика можно представить в следующей форме:

$$U_{\delta} \rightarrow I_{\delta} \rightarrow T_{\delta} \uparrow \gamma \text{ и } tg\delta \uparrow \rightarrow I_{\delta} \uparrow \rightarrow T_{\delta} \uparrow \text{ и т.д.}$$

где

U_{δ} - напряжение, приложенное к изоляции;

I_{δ} - ток, текущий через изоляцию;

T_{δ} - температура изоляции;

γ - проводимость изоляции;

$tg\delta$ - диэлектрические потери в изоляции.

1.7. Методы и устройства для измерения высоких напряжения

Научной группой была предусмотрена возможность измерения высоких напряжений. Измерение высоких напряжений, даже на сегодняшний день, это одна из сложных проблем в высоковольтной технике. Сложность связана с тем, что всегда приходится учитывать различные факторы, которые так или иначе вносят свою погрешность на точность измерения. Эти факторы зависят от частоты, вида напряжения, различных внешних условий, тепловых явлений и т.д. Все эти факторы исключить невозможно, поэтому необходимо их учитывать в ходе работы.

Существуют две основные группы устройств и методов для измерения высокого напряжения.

Методы и устройства, которые позволяют измерить полную величину напряжения.

Методы и устройства, которые позволяют измерить часть напряжения и с помощью коэффициента пропорциональности получить полную составляющую напряжения.

В данной научной работе мы пользовались электростатическим киловольтметром. Электростатический киловольтметр применяют для прямого измерения высокого напряжения.

В установке (о которой пойдет речь далее) использовался электростатический киловольтметр С-196, имеющий величину погрешности $\pm(1,0 \div 1,5)\%$ [9-11].

2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

2.1. Экспертная оценка поставщиков

Целью данного раздела является оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, планирование работ и расчет бюджета научного исследования.

В этом разделе мы произведем сравнительный анализ нескольких поставщиков электротехнического оборудования, в нашем случае источники постоянного тока, по следующим критериям:

1. $U(t)$ -шаг регулирования напряжения
2. Гарантия-гарантируемый производителем срок работы оборудования
3. Цена
4. Эргономичность-удобство эксплуатации конструкции и ее обслуживание

Эксперты оценили характеристики товаров по 10 - ти бальной шкале (10 - max). Далее они оценили важность каждого критерия по 5 бальной шкале (bj). Все данные представлены в таблицах 7 – 11.

Таблица 7 – Список компаний-производителей источников постоянного тока

№	Фирма производитель	Страна
1	Siemens	Германия
2	Apel-HV	Китай
3	ABB	Эстония
4	Alstom	Франция
5	ЗАО “Новосибирский завод электротехники”	Россия

Таблица 8 – Оценка конкурентоспособности первого эксперта

Фирма производитель	U(t)	Гарантия	Цена	Удобство	Сумма
Siemens	9/2.61	9/2.16	5/1.2	7/1.68	30/7.65
Apel-HV	7/2.03	5/1.2	8/1.92	7/1.68	27/6.83
ABB	8/2.32	6/1.44	9/2.16	6/1.44	29/7.36
Alstorm	8/2.32	8/1.92	6/1.44	8/1.92	30/7.6
НЗЭ	8/2.32	9/2.16	8/1.92	6/1.44	31/7.84
Важность (bi) [1-5]	5	4	4	4	17
Вес (Wi)	0,29	0,24	0,24	0,24	1,00

Таблица 9 – Оценка конкурентоспособности второго эксперта

Фирма производитель	U(t)	Гарантия	Цена	Удобство	Сумма
Siemens	9/2.61	9/2.16	6/1.44	8/1.92	32/8.13
Apel-HV	8/2.32	5/1.2	8/1.92	6/1.44	27/6.88
ABB	8/2.32	6/1.44	9/2.16	5/1.2	28/7.12
Alstorm	6/1.74	6/1.44	7/1.68	8/1.92	27/6.78
НЗЭ	7/2.03	8/1.92	6/1.44	5/1.2	26/6.59
Важность (bi) [1-5]	5	4	4	4	17
Вес (Wi)	0,29	0,24	0,24	0,24	1,00

Таблица 10 – Оценка конкурентоспособности третьего эксперта

Фирма производитель	U(t)	Гарантия	Цена	Удобство	Сумма
Siemens	8/2.32	10/2.4	4/0.96	8/1.92	30/7.6
Apel-HV	7/2.03	5/1.2	7/1.68	6/1.44	25/6.35
ABB	8/2.32	5/1.2	9/2.16	7/1.68	29/7.36
Alstorm	7/2.03	7/1.68	8/1.92	9/2.16	31/7.79
НЗЭ	9/2.61	9/2.16	7/1.98	8/1.92	33/8.37
Важность (bi) [1-5]	5	4	4	4	17
Вес (Wi)	0,29	0,24	0,24	0,24	1,00

Таблица 11 – Итоговые экспертные оценки

Фирма производитель	Первый эксперт	Второй эксперт	Третий эксперт	Сумма
Siemens	8,13	7,65	7,60	23,38
Apel-HV	6,88	6,83	6,35	20,06
ABB	7,12	7,36	7,36	21,84
Alstorm	6,78	7,6	7,79	22,17
НЗЭ	6,59	7,84	8,37	22,80

В итоге, по результатам трёх независимых экспертных оценок, высший средний бал по получила компания – Siemens (Германия). Но из-за колебания курса валют было принято решение в пользу НЗЭ.

2.2. Планирование научно-исследовательских работ

2.2.1. Структура работ в рамках проектирования

Планирование комплекса предполагаемых работ производится в следующем порядке:

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

Для выполнения работ по проектированию формируется группа, в состав которой входят: руководитель и инженер.

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

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические исследования	5	Патентный поиск по тематике исследований	Инженер
	6	Проектирование электрических цепей для проведения эксперимента с помощью программного обеспечения ПК	Инженер
	7	Моделирование экспериментов с помощью программного обеспечения эксперимента ПК	Инженер
Практическое исследования	8	Сборка прототипа установки	Инженер
	9	Сборка прототипа установки	Инженер
	10	Проведение экспериментов	Инженер
	11	Обработка и оценка экспериментальных данных	Инженер

Продолжение таблицы 12

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность
Социальный блок	12	Финансовый менеджмент	Инженер
	13	Социальная ответственность	Инженер
Обобщение и оценка результатов	14	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Оформление отчета (комплекта документации)	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

2.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость работ — это показатель, характеризующий затраты живого труда, выраженные в рабочем времени, затраченном на производство продукции. Трудоемкость измеряется, как правило, в нормо-часах (фактических часах работы, затраченных на производство единицы работы).

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

где $t_{ожі}$ — ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

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

2.2.3. Разработка графика проведения работ

Наиболее удобным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – является одним из методов планирования проекта, которая состоит из столбчатых диаграмм (гистограмм для иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту.

Диаграмма Ганта состоит из полос, ориентированных вдоль оси времени. Каждая полоса на диаграмме представляет отдельную задачу в составе проекта (вид работы), её концы - моменты начала и завершения работы, её протяженность - длительность работы. Вертикальной осью диаграммы служит перечень задач.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}}},$$

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

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

Пример:

$$t_{\text{ож1}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min1}} + 2 \cdot t_{\text{max1}}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 11}{5} = 7 \text{ чел} - \text{дни},$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}}} = \frac{365}{365 - 119} = 1.48$$

На основе таблицы 13 строится календарный план-график.

График строится на основе таблицы 13 с разбивкой по месяцам и декадам.

Таблица 13 – Временные показатели проведения работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Число исполнителей N чел	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	tmin, чел-дни		tmax, чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни				
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель / Инженер	Руководитель / Инженер	Руководитель / Инженер
Составление и утверждение технического задания	4		11		7		1	7	11
Подбор и изучение материалов по теме		2		5		3	2	2	4
Выбор направления исследований		4		6		4	2	3	5
Календарное планирование работ по теме	1		3		2		1	2	4
Патентный поиск по тематике исследований		5		9		6	2	4	7
Проектирование электрических цепей для проведения эксперимента с помощью программного обеспечения ПК		7		9		7	2	4	7
Моделирование экспериментов с помощью программного обеспечения эксперимента ПК		11		12		13	2	6	10
Сборка прототипа установки		6		9		6	2	4	7
Пуско-наладка		4		10		7	2	4	7
Проведение экспериментов		3		7		9	2	3	5
Обработка и оценка экспериментальных данных		11		13		12	2	6	10
Менеджмент		7		10		8	2	5	8
Социальная ответственность		3		8		6	2	3	5
Оценка эффективности полученных результатов	4		5		5		1	5	8
Составление пояснительной записки		5		9		7	2	4	7
итог									105

Таблица 14 – Календарный план-график проведения проектирования по теме

№	Вид работ	Исполнители	T _{Ki} кал дн	Продолжительность выполнения работ												
				фев			март			апрель			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	11	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4	▨												
3	Выбор направления исследований	Инженер	5		▨											
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	4		■											
5	Патентный поиск по тематике исследований	Инженер	7			▨										
6	Проектирование электрических цепей для проведения эксперимента с помощью программного обеспечения ПК	Инженер	7				▨									
7	Моделирование экспериментов с помощью программного обеспечения эксперимента ПК	Инженер	10					▨								
8	Сборка прототипа установки	Инженер	7						▨							
9	Сборка прототипа установки	Инженер	7							▨						
10	Проведение экспериментов	Инженер	5								▨					
11	Обработка и оценка экспериментальных данных	Инженер	10									▨				
12	Менеджмент	Инженер	8										▨			
13	Социальная ответственность	Инженер	5											▨		
14	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	8												■	
15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	7													▨

Итого длительность работ в календарных днях руководителя равняется 23

дня, а инженера 82 дня.

2.3. Формирование бюджета затрат. Расчет затрат

2.3.1. Расчет материальных затрат

Материальные затраты - элемент себестоимости продукции, в котором отражается стоимость: приобретаемых со стороны сырья и материалов, входящих в состав вырабатываемой продукции или являющихся необходимым компонентом при изготовлении продукции; покупных материалов, используемых в процессе производства продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносим в таблицу 15,16.

Таблица 15 – Материальные затраты на канцелярские нужды

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Бумага для принтера, формат А4	Лист	180	1,5	270
Карандаш механический	Штука	2	40	80
Стержни на карандаш	Упаковка	3	20	60
Тетрадь	Штука	2	15	30
Ручка	Штука	2	15	30
Итого				470

Таблица 16 – Материальные затраты на установку

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Электронный микроскоп	Шт.	1	15000	15000
Стеклотекстолита	м ²	1	1000	1000
Полипропиленовые трубы	м	1	75	75
Подводники медные одножильные	м	5	40	200
Источник тока	Шт.	1	15000	15000
ЛАТР	Шт.	1	2500	2500
Программное обеспечение	Шт.	1	500	500
Итого				34275

2.3.2. Заработная плата исполнителей

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (15% от $Z_{\text{осн}}$).

Таблица 17 – Основная заработная плата

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	11	4140	45540
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4	2760	11040
3	Выбор направления исследований	Инженер	4	2760	11040
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	4	517,5	2070
5	Патентный поиск по тематике исследований	Инженер	5	2760	13800
6	Проектирование электрических цепей для проведения эксперимента с помощью программного обеспечения ПК	Инженер	8	2760	22080
7	Моделирование экспериментов с помощью программного обеспечения эксперимента ПК	Инженер	10	2760	27600
8	Сборка прототипа установки	Инженер	7	2760	19320
9	Сборка прототипа установки	Инженер	7	2760	19320
10	Проведение экспериментов	Инженер	5	2760	13800
11	Обработка и оценка экспериментальных данных	Инженер	10	2760	27600
12	Менеджмент	Инженер	8	2760	22080
13	Социальная ответственность	Инженер	5	2760	13800
14	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	8	517,5	4140
15	Составление пояснительной записки	Инженер	7	2760	19320
Итого:					272550

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

Месячный должностной оклад работника:

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

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

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

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

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

Тарифная заработная плата $Z_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки работника: для инженера-13551, для руководителя - 20105, на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке.

Пример:

$$Z_{\text{тс}} = \text{ТС} \cdot k_{\text{т}} = 13551 \cdot 1 = 13551 \text{ руб.}$$

Пример:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 13551 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 25543 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = 25543/21 = 1216 \text{ руб.}$$

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

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

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 272550 = 40882 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$$

$$З_{\text{зп}} = 272550 + 40,882 = 313432,5 \text{ руб}$$

2.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

$$З_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (313432,5) = 84940,2 \text{ руб.}$$

2.3.4. Накладные расходы

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

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 116%.

$$З_{\text{накл}} = 313432,5 \cdot 0,16 = 50149 \text{ руб.}$$

2.3.5. Формирование затрат научно-исследовательского проекта

Затраты – это ресурсы, которые предназначены или уже потрачены и приобретение определенных Товаров и услуг. Измерить затраты можно отдельно для любого вида или участка деятельности

Рассчитанная величина затрат проектирования работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Все расчеты затрат приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат на НИ

Наименование статьи	Примечание	
	руб	%
Материальные затраты	34745	12,53
Заработная плата исполнителей	107473	38,76
Отчисления во внебюджетные фонды	84940,2	30,63
Накладные расходы	50149,12	18,08
Бюджет НИ	277307	100

2.3.6. 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 ресурсэффективности.

Исп.1 – использование комплектующих производства Siemens

Исп.2 – использование комплектующих производства Toshiba

Исп.3 – использование комплектующих производства АВВ

Материалы, носящие конструктивный характер: корпуса, держатели, опоры, болты и т.д. – российского производства, применяются во всех видах исполнения. Каждый вид исполнения подразумевает применение комплектующих рассмотренной фирмы или иной в зависимости от конкретной детали. В случае если компания не производит необходимый компонент для выбранного исполнения, то рассматриваются поставщики из того же региона или страны.

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект	Весовой коэффициент	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.Надежность	0,2	5	5	4
2.Универсальность	0,2	4	4	5
3. Уровень материалоемкости	0,15	4	4	5
4. Функциональна мощность	0,2	5	5	4
5. Ремонтпригодность	0,1	5	5	5
6. Энергосбережение	0,15	4	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,15	3,8

Пример расчета:

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

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

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 = 4,55;$$

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

$$I_{испi} = I_{p-испi} / I_{финр}^{исп.i},$$

$$I_{исп1} = 4,5 / 0,8 = 5,625; I_{исп2} = 4,5 / 1 = 4,5; I_{исп3} = 4,55 / 0,55 = 8,27$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.20) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = I_{испi} / I_{исп \max},$$

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	1	0,52
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,5	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	5,625	4,5	8,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,64	0,51	1

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

Данная установка предназначена для поиска латентных дефектов в конденсаторных пленках. Обнаружение подобных дефектов является важной задачей, так их наличие приводит к сокращению срока службы изоляции, а, следовательно, преждевременному выходу из строя оборудования, что является затратами для производства. Применение устройства целесообразно на производственном предприятии или в испытательной лаборатории. Устройство с высокой точностью способно обнаруживать дефекты широкий спектр дефектов.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что внедрение установки приведет к сокращению числа изделий со скрытыми недостатками поступающих к потребителю – это положительно отразится на имидже компании производителя, на уверенности покупателя в продукте и как следствие увеличит число продаж [18].