

**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 (ЭЭС)

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Определение трекингостойкости новых полимерных материалов УДК 620.22-419.8:621.3.011.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5A	Сатындыев Асылбек Сатындыевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭЭС	Лавринович Валерий Александрович	д.т.н		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Менеджмента	Грахова Е.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.	к.т.н		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

**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 2016/2017 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:	01.06.17
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.12.15	Обзор отечественной литературы	15
11.03.16	Методика проведения исследований	5
30.10.16	Экспериментальная часть	20
30.03.17	Обсуждение результатов	5
01.05.17	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
03.05.17	Социальная ответственность	20
25.05.17	Заключение	5
28.05.17	Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке	10

**Составил преподаватель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭЭС	Лавринович Валерий Александрович	Д.Т.Н		

**СОГЛАСОВАНО:**

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

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки (специальность) 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электротехнических систем

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭЭС

\_\_\_\_\_ Сулайманов А. О.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5A	Сатындыеву Асылбеку Сатындыевичу

Тема работы:

Определение трекинговости новых полимерных материалов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	03.02.2017, №593/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.17
--	---------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<p><b>ГОСТ 27473-87 – Метод определения сравнительного и контрольного индексов трекинговости во влажной среде.</b></p> <p><b>ГОСТ 6433.3-71 – Методы определения электрической прочности при переменном (частоты 50 Гц) и постоянном напряжении.</b></p> <p><b>ГОСТ Р 50499-93 – Методы определения удельного объемного и поверхностного сопротивления.</b></p> <p><b>Образцы материалов: 1) АБС пластика,</b></p>
---------------------------------	--

	2) Полилактида, 3) Бутадиен-стирольного каучука.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>1. Анализ методов и средств испытаний электроизоляционных материалов на трекингостойкость, определение электрической прочности, определение объемного и поверхностного сопротивления.</p> <p>2. Причины и процессы образования трекинга на поверхности изоляционных материалов.</p> <p>3. Разработать установку для проведения испытаний на трекингостойкость по ГОСТ 27473-87.</p> <p>4. Измерить электрическую прочность по ГОСТ 6433.3-71, удельное поверхностное и объемное сопротивление по ГОСТ Р 50499-93.</p> <p>5. Провести сопоставительный анализ полученных результатов.</p>
Перечень графического материала	Презентация в Power Point.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Е. А.
Социальная ответственность	Дашковский А. Г.
Приложение (английская часть)	Воронина В.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. introduction	
2. Fundamental Theory; Leakage current and surface degradation	
3. Experimental details; Materials preparation and sample	

**4. Results; Discussions**

**5. Conclusions**

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

**01.02.2017**

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭЭС	Лавринович Валерий Александрович..	Д.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5A	Сатындыев Асылбек Сатындыевич		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM5A	Сатындыев Асылбек Сатындыевич

<b>Институт</b>	Энергетический	<b>Кафедра</b>	Электроэнергетических систем
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<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>	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>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления на социальные цели 27,1%

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	1. Потенциальные потребители исследования 2. SWOT-анализ
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Планирование работ по проекту: - Определение структуры работ; <b>Расчет бюджета затрат на НТИ</b> - Расчет бюджета затрат на реализацию проекта
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой,</i>	Оценка ресурсной эффективности

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

1. Матрица SWOT
2. Ленточный график продолжительности работ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.02.2017
---	------------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5A	Сатындыев Асылбек Сатындыевич		



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5A	Сатындыев Асылбек Сатындыевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	13.04.02 электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Исследовательская работа проводится в лабораторном кабинете. Работа осуществляется на разрядной установке по испытанию на пробой диэлектриков.
--	--

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

<b>1. Производственная безопасность</b>	– Освещенность лаборатории;
1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности	– Шум от установки и ПК;
	– Микроклимат в лаборатории;
	– Электромагнитное поле от электроустановок.
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности	– Электробезопасность
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	– разработка решений по обеспечению экологической безопасности
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Выбор и описание возможных ЧС;
	– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	– специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.17
--	----------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский Анатолий Григорьевич	к. т. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5A	Сатындыев Асылбек Сатындыевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 154 с., 42 рисунков, 17 таблиц, 36 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: трекингостойкость, полиэтилен, стеклотекстолит, полистирол, оргстекло, винипласт, фторопласт, фарфор.

Объектом исследования являются электроизоляционные материалы подверженные трекингом.

Цель работы – определение трекингостойкости новых полимерных материалов.

В процессе работы проводились экспериментальные испытания на трекингостойкость новых полимерных материалов, согласно ГОСТ 27473-87.

В результате выполнения работы была сконструирована установка для проведения испытаний на трекингостойкость. Проведены эксперименты по определению трекингостойкости новых полимерных материалов как: АБС пластика, полилактида, бутадиен-стирольного каучука.

А так же сделан сопоставительный анализ электроизоляционных материалов по трекингостойкости с оргстеклом, фторопластом-4, фарфором, твердым поливинилхлоридом ПВХ, полиэтиленом низкого давления.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 и представлена на диске DVD (в конверте на обороте обложки).

## Оглавление

Введение.....	16
Степень разработанности.....	18
Научная новизна.....	19
Практическая ценность работы.....	19
Методы исследования.....	19
Положения, выносимые на защиту.....	20
Степень достоверности результатов.....	20
1 Анализ современных методов и средств испытаний полимерных материалов для изоляторов в электроэнергетике.....	21
1.2 Технология изготовления полимерных изоляторов.....	23
1.3 Новые полимерные материалы, применяемые для печати на 3D принтере.....	25
1) АБС пластик.....	25
Преимущества АБС пластика:.....	26
Основные недостатки АБС пластика:.....	26
2) Полилактид –.....	27
3) Бутадиен-стирольные каучуки.....	27
3D-принтер.....	28
2 Методики проведения испытаний.....	32
2.1 Методика проведения испытаний на трекингостойкость.....	32
2.1.1 Испытуемый образец.....	33
2.1.2 Испытательный раствор.....	34
2.1.3 Общие требования.....	35
Примечания:.....	35
2.1.4 Определение сравнительного индекса трекингостойкости (СИТ).....	36
Примечания:.....	36
2.2 Методика определения электрической прочности материала.....	38
2.2.1 Отбор образцов.....	41

Примечание:.....	42
2.3 ГОСТ 50499-93 Материалы электроизоляционные твердые.....	44
2.3.1 Методы определения поверхностного сопротивления .....	44
Область распространения.....	44
Поверхностное сопротивление .....	44
Назначение.....	45
Источник питания .....	46
2.3.2 Методы измерения и точность .....	46
Метод измерения.....	46
Точность.....	47
Защита .....	48
2.3.1. Испытуемые образцы .....	49
2.3.2. Материал электродов.....	51
Проводящая серебряная краска .....	51
Коллоидный графит .....	52
Металлическая фольга.....	52
2.3.3 Методика испытания .....	52
3 Конструкции и установки для испытания новых полимерных материалов	
.....	53
3.1.1 Установка для определения трекинговостойкости .....	53
Электроды.....	56
Принцип действия установки .....	57
Общий вид установки .....	58
Указание по проведению эксперимента .....	58
После эксперимента необходимо выполнить следующие действия: .....	59
3.2.1 Установка для определения электрической прочности твердых	
изоляционных материалов .....	60
Общий вид установки.....	60
Примечание.....	61
Вариант А.....	63

Вариант Б. ....	63
Расчет результатов испытаний по определению электрической прочности .....	65
Согласно ГОСТ 6433.3-71 протокол испытаний должен содержать следующие данные:.....	66
3.3.1 Установка для определения поверхностного сопротивления .....	66
Расчет результатов .....	67
Протокол испытаний .....	68
Примечания.....	68
4 Экспериментальная часть.....	69
4.1 Результаты испытаний новых полимерных материалов на трекинговость.....	69
4.1.1 Испытание полистирола на трекинговость .....	69
4.1.2 Испытание АБС-пластика на трекинговость.....	70
4.1.3 Испытание полилактида (PLA) на трекинговость .....	71
4.1.4 Испытание Оксида Алюминия ( ) на трекинговость .....	73
4.1.5 Испытание линейных изоляторов и диэлектрических каркасов вакуумного выключателя .....	74
4.2 Результаты испытаний нового полимерного материала на электрическую прочность ГОСТ 6433.3-71 .....	81
Методы определения электрической прочности при переменном токе (частоты 50 Гц).....	81
4.2.1 Определение электрической прочности АБС пластика.....	81
4.3 Результаты измерений поверхностного сопротивления новых полимерных материалов.....	84
4.3.1 Измерение поверхностного сопротивления .....	84
5.1 Инициализация проекта и его потенциальные потребители .....	89
5.1.1 SWOT анализ проекта.....	90
5.2 Организация и планирование НТП .....	91
5.2.1 Определение трудоемкости работ.....	91

5.3 Формирование бюджета на реализацию проекта .....	93
Материальные затраты .....	93
5.3.1 Амортизация оборудования .....	94
5.3.2 Расчет основной заработной платы.....	95
5.3.3 Отчисления на социальные цели.....	96
5.3.4 Накладные расходы .....	97
5.3.5 Общие затраты на научное исследование .....	97
5.4 Определение ресурсной эффективности исследования.....	98
Вывод.....	100
Введение.....	102
6.1. Профессиональная социальная безопасность .....	103
6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	103
Опасные факторы:.....	103
6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования. ....	104
Микроклимат .....	105
Шум .....	107
Электромагнитное воздействие .....	109
Освещение.....	110
Пожарная безопасность .....	112
6.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды.....	114
6.2.1. Электробезопасность .....	114
6.2.2 Экологическая безопасность.....	117
Мусор от бытовых помещений организаций. ....	118
Отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности .....	118
6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	119
6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	119
Вывод.....	122

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	123
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	126
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	130
Abstract .....	131
INTRODUCTION.....	131
1. Fundamental Theory .....	133
1.1. Hydrophobic Contact Angle .....	133
1.2. Contact Angle Classification .....	135
1.3. Leakage Current and Surface Degradation .....	136
2. EXPERIMENTAL DETAILS .....	137
A. Material .....	137
B. Sample Preparation.....	137
C. Inclined Plane Tracking and Erosion Test .....	137
D. Scanning Electron Microscopy (SEM) Studies .....	138
Figure 4. Inclined Plane Tracking and Erosion Test Setup .....	138
E. Thermo.....	138
3. Materials Preparation and Test Sample .....	138
4. Electrodes .....	141
4.1. Contaminant and Filter Paper .....	142
5 RESULTS .....	142
A. SEM Studies .....	142
B. Physical Studies.....	143
C. TGA Studies .....	144
6. Discussions.....	146
7 .Conclusions .....	149
References .....	150

## Введение

Одна из основных задач электроэнергетики – бесперебойная подача электроэнергии потребителям. Эта задача является важнейшей составляющей для жизни обычного человека в наше время, не говоря о крупных заводах и других промышленных предприятиях. Перерывы в электроснабжении по объему ущерба могут быть причислены к наиболее рискованным видам бедствий. Последствия перерывов в электроснабжении могут нанести значимый удар по национальной экономике и нормальной жизнедеятельности людей. В электроэнергетике электрическая изоляция является одним из главных элементов, обеспечивающих безотказность и долговечность службы любых электрических аппаратов и машин.

В процессе эксплуатации изоляция испытывает постоянное воздействие номинального напряжения и кратковременные воздействия перенапряжений в комплексе с другими факторами, такими как климатические, химические, температурные и механические. Кроме этих факторов следует учитывать длительность эксплуатации, которая приводит к деградации электрических и механических характеристик изоляции, что часто приводит к пробое или перекрытию электрических изоляторов и выходу из строя электрических аппаратов или машин. Одной из основных характеристик изоляционного материала является трекинговая стойкость, которая зачастую является определяющей выбор материала и его марки.

Последнее столетие в электроэнергетике с большим спросом пользовались фарфоровые и стеклянные изоляторы (так же известные как керамические), которые составляли основу внешней изоляции на станциях, подстанциях и линиях электропередач. Полимерные и пластмассовые изоляторы начали применяться в электрических системах с 1980 года, когда появились первые коммерческие образцы полимерных изоляторов для воздушных линий электропередач классом напряжения 750 кВ и опорные изоляторы классом напряжения до 220 кВ включительно, которые



устанавливаются в открытых распределительных устройствах (ОРУ). Полимерные изоляторы превосходят по многим параметрам фарфоровые и стеклянные изоляторы, один из которых занимает особое место, этот параметр характеризует свойства внешней поверхности при перекрытиях и после них в различных условиях эксплуатации. Например, в процессе эксплуатации на поверхности изоляторов накапливается грязь, которая может очень сильно изменить изоляционные свойства конструкции, особенно после перекрытия.

*Актуальность темы исследования.* В связи с применением новых полимерных материалов в различных элементах электротехнических конструкций необходимо знать их трекинговость, для определения которой существует ГОСТ 27473-87. Количество новых полимерных материалов растет с каждым годом, справочники по электротехническим материалам не успевают отражать характеристики этих материалов, а производители новых материалов зачастую не владеют необходимыми методами и средствами для определения ряда специфических электротехнических характеристик, к которым можно отнести трекинговость. Это позволяет утверждать, что тема определения трекинговости новых полимерных материалов актуальна. По этим же причинам актуально определение электрической прочности, поверхностного и объемного сопротивлений.

В данной работе, в соответствии с актуальностью и поставленной целью, проведены испытания новых полимерных материалов, таких как АБС пластик, полилактид, бутадиен-стирольный каучук на трекинговость. Сделан сопоставительный анализ полученных результатов с известными материалами минерального и полимерного происхождения. Рассмотрены вопросы применения этих изоляционных материалов в изделиях, предназначенных для работы в различных климатических зонах. В частности, проведен сопоставленный анализ: 1) по электрической прочности, 2) по трекинговости, 3) по поверхностному сопротивлению.

Отличительной особенностью данной работы является испытание на трекинговость новых полимерных материалов, на основе которых с

помощью 3D принтера можно получать изоляторы сложной конфигурации для применения не только в энергетике, но и в других отраслях, где используется высокое напряжение, например, в технологических процессах, в электрофизике, в ядерной физике и др.

**Степень разработанности.** Метод определения трекинговости электротехнических материалов отработан настолько, что существует ГОСТ 27473-87. "Метод определения сравнительного и контрольного индексов трекинговости во влажной среде". В данном направлении регулярно проводятся исследовательские работы и создаются и уточняются новые методы испытания. Например, **диссертация:** "Методика ускоренных испытаний на трекинговость образцов материалов и элементов полимерных изоляционных конструкции наружной установки» автора Юлдашева Абдуллы Кадыровича. или магистерская **диссертация:** «Влияние микроорганизмов на полимерные изоляторы» автора Нгуен Хоанг Хьеп. В периодической литературе регулярно появляются работы на тему трекинговости новых полимерных материалов, например, **статья:** «Трекинговость кремнийорганической изоляции при воздействии биологических образований на ее поверхность» авторов Нгуен Хоанг Хьеп и Лавринович Валерий Александрович.

**Цель работы.** Определение трекинговости новых полимерных материалов, заданных темой диссертации.

Для достижения поставленной цели были определены **задачи:**

- 1) на основе литературного анализа разработать установку для определения трекинговости новых полимерных материалов;
- 2) экспериментально определить трекинговость заданных материалов и некоторых изоляционных материалов с уже известными значениями трекинговости для сравнения их трекинговости;
- 3) для заданных материалов определить электрическую прочность и значения объемного и поверхностного сопротивления по ГОСТ Р 50499-93;

4) проанализировать полученные результаты и выработать рекомендации по их применению в качестве материалов для высоковольтных изоляторов.

***Научная новизна.***

1. Получены неизвестные ранее характеристики трекинговости, электрической прочности, объемного и поверхностного сопротивлений АБС пластика, полилактида, бутадиен-стирольного каучука полученных на образцах изготовленных на 3D принтере.

2. Показано, что материалы как: АБС пластик, полилактид, бутадиен-стирольный каучуки могут применяться в конструкциях изоляторов категории размещения 4 по ГОСТ 27473-87.

***Практическая ценность работы.*** Экспериментальным путем получены характеристики изоляционных материалов пригодных к использованию в аппаратах климатического исполнения УХЛ4 по ГОСТ 27473-87; изоляторы могут быть изготовлены методом печати на 3D принтере.

***Методы исследования.*** Использованы в основном экспериментальные методы, которые установлены российскими стандартами для испытания электротехнических материалов. Кроме этого использовались традиционные статистические методы обработки результатов эксперимента, при нахождение средних значений измеряемых величин и их среднеквадратических отклонений.

***Положения, выносимые на защиту.***

1. Экспериментальные результаты по трекингостойкости, электрической прочности, объемного и поверхностного сопротивлений полимерных материалов АБС пластика, полилактида, бутадиен-стирольного каучука полученных на образцах изготовленных на 3D принтере.

2. Определены материалы АБС пластик, полилактид, бутадиен-стирольного каучука, которые могут применяться в конструкциях изоляторов категории размещения 4 по ГОСТ 27473-87.

***Степень достоверности результатов.*** Достоверность полученных результатов подтверждается применением методов испытания электротехнических материалов, изложенных в российских стандартах. Полученные результаты не противоречат известным характеристикам, полученным для других аналогичных полимерных материалов, приведенных в электротехнических справочниках и научных публикациях.

# **1 Анализ современных методов и средств испытаний полимерных материалов для изоляторов в электроэнергетике**

В современной энергетике самыми распространенными, в настоящее время, считаются изоляторы из электротехнического фарфора и стекла. На воздушных линиях электропередач (ВЛЭП) наибольшее применение находят изоляторы из стекла. В оборудовании станций и подстанций достаточно широко используются изделия из фарфора: это опорные изоляторы и различного вида покрышки. Изоляторы из закаленного стекла, широко используемые на ВЛЭП, имеют преимущество перед керамическими: технологический процесс их изготовления может полностью автоматизирован и механизирован; прозрачность стекла позволяет легко обнаружить при осмотре различные дефекты, включая мелкие; применение этих изоляторов позволяет отказаться от проведения профилактических испытаний гирлянд под напряжением. Кроме фарфоровой и стеклянной изоляции в настоящее время имеется тенденция к замене их на полимерные изоляторы [1].

Полимерные изоляторы имеют высокую электрическую и механическую прочность за счет применения стеклопластиков, что существенно снижает вес изоляторов во всех классах напряжения от 6 кВ до 1150 кВ, что и делает их конкурентоспособными со всеми другими типами изоляторов. К преимуществам полимерных изоляторов можно отнести:

- высокую устойчивость к атмосферным загрязнениям,
- гидрофобность,
- простоту и удобства монтажа,
- высокую стойкость к перенапряжениям,
- малый вес (10% от веса стеклянных или фарфоровых изоляторов).

Вес является важным показателем при монтажных и демонтажных работах. Полимерные изоляторы начали приниматься за рубежом примерно в

начале 90-х годов прошлого столетия. А в России их начали интенсивно применять уже в конце 90-х годов. Серийное производство начато около 13...15 лет назад. Одним из первых производителей этих изоляторов в СССР было предприятие «Энергия 21» которые находились в Южно-Уральске (Челябинская область). В наши дни число производителей полимерных изоляторов значительно выросло, что привело к конкуренции между ними за рынки сбыта [2].

В наши дни полимерные материалы в качестве как изоляторы широко применяются в области энергетики. Они используются как на станциях и подстанциях, так и для ВЛЭП [3].

Современные полимерные изоляторы изготавливаются в составе композитных материалов, при этом они делятся на несколько видов изделий:

- изолирующие траверсы для ВЛЭП напряжением от 10 до 500 кВ;
- железнодорожные изоляторы на основе полимеров, таких как
- полимерные изоляторы опорные подстанционные;
- опорные линейные стержневые изоляторы на основе полимеров.

Изоляторы, изготовленные на основе композиционных полимерных материалов в будущем могут рассматриваться как альтернатива традиционным конструкциям всех изоляторов различных изоляционных материалов [2].

Благодаря преимуществам полимерных изоляторов по сравнению с фарфоровыми и стеклянными применение полимерных изоляторов позволяет значительно повысить надежность работы, срок службы электрооборудования и безопасность обслуживающего персонала. Но полимеры быстро поддаются к разрушению на месте стыков, соединений. Кроме этого в процессе эксплуатации возможны перекрытия изоляции, поэтому для оптимального выбора материала необходимо знать трекингостойкость материала, который предполагается использовать в конструкции электротехнического изделия [2].

## 1.2 Технология изготовления полимерных изоляторов

Технология производства полимерных изоляторов постоянно совершенствуется, поэтому, по сравнению с начальными образцами такой продукции, на сегодняшний день их надежность значительно возросла. В начале в полимерных изоляторах первого поколения использовалась своеобразная «шашлычная» технология нанесения оболочки на стеклотекстолитовую стержень посредством ручной порёберной склейки. При разгерметизации хотя бы одного клеевого шва происходило внутренне увлажнение, что в последствие приводило к выходу полимерного изолятора из строя из-за механического разрушения стеклотекстолитового стержня сквозного пробоя. В полимерных изоляторах второго поколения началось применение цельнолитой кремнийорганической силиконовой защитной оболочки, которая устойчива к ультрафиолетовым солнечным лучам и неблагоприятным погодным условиям. При этом проклейка по-прежнему применялась для герметизации узла входа стержня в наконечниках. По той же причине на полимерных изоляторах второго поколения также были зафиксированы случаи разгерметизации стыка защитной оболочки и стыка с оконцевателем, вследствие чего происходило увлажнение стержня с даейшим перекрытием или механическим разрушением.

В третьем поколении полимерных изоляторов вышеуказанные недоучеты были устранены посредством применения защитной оболочки, которая характеризуется высокой степенью адгезии, как к стержню изолятора, так и к наконечнику. Данная технология не принимается в Европе, поскольку имеется риск того, что резина постепенно может утратить контакт с металлическими элементами изолятора.

К этому времени разработаны и серийно изготавливаются полимерные изоляторы на класс напряжение 10...500 кВ. Изоляторы на напряжение 500 кВ изготавливаются в основном на базе стеклопластиковых труб. Полимерные опорные изоляторы могут применяться как в качестве шинных опорных, так и в качестве опорно-поворотных колонок в составе разъединителя. По своим

габаритным и установочным размерам выпускаемые конструкции полимерных изоляторов унифицированы с керамическими изоляторами. На начальном этапе внедрения обязательными атрибутами опытно-промышленной эксплуатации полимерных изоляторов должны являться регулярные проверки и контроль технического состояния изоляторов в процессе эксплуатации, а также проведение после эксплуатационных испытаний с периодичностью 1, 3 и 6 лет. Только в этом случае можно получить объективную информацию о надежности изоляторов, выявить имеющиеся недостатки и принять современные меры к их устранению [3].

В процессе эксплуатации и в лабораторных испытаниях демонтированные после различной продолжительности службы выявлены нижеперечисленные положительные результаты:

- в местах с умеренными загрязнениями не замечено случаев пробоя изоляторов и ребер, образования трека или эрозии оболочки [2].
- изоляторы длительно сохраняют высокие значения удельного поверхностного сопротивления, по сравнению со стеклянными изоляторами в одинаковых условиях этот показатель в 3-4 раза выше [2].
- влагоразрядные напряжение полимерных изоляторов, которые прослужили от 5 до 12 лет, почти в два раза выше, чем у гирлянд стеклянных изоляторов, с той же длиной пути утечки, в одинаковых погодных условиях [3].
- полимерные изоляторы сохраняют начальную высокую электрическую прочность при воздействии грозových и коммутационных перенапряжений [2].
- По заводским ценам стоимость линейного полимерного изолятора ЛК 120/220-AIV – 4350 руб., а гирлянда из 15 стеклянных изоляторов 15хПС120Б для ВЛЭП 220 кВ, составляет 6500 руб., то есть полимерные изоляторы в 1,5 раза дешевле стеклянных [4].



### 1.3 Новые полимерные материалы, применяемые для печати на 3D принтере

В наши дни есть новые полимерные материалы, которые применяются в обычном быту, но в энергетике еще не пользуются.

1) *АБС пластик* – это термопластическая ударопрочная техническая смола, сополимер акрилонитрил-бутадиен-стирол. Это пластический материал с желтоватым оттенком, хотя имеются и прозрачные модификации продукта. АБС-пластики легко окрашиваются в любые цвета. Благодаря сочетанию акрилонитрильных и бутадиеновых звеньев со стиролом АБС пластик ударопрочен и эластичен. Он имеет уникальные физические свойства, это самый востребованный материал для производства формованных изделий. Промышленность производит АБС пластик в виде однородных гранул разных цветов. На основе АБС материала производят различные композиты, которые относятся к классу специальных полимеров. Также на российском рынке могут встречаться и такие названия этого материала, как: АБС, ABS, АБС сополимер, сополимер акрилонитрила, бутадиена и стирола. Условное обозначение АБС сополимера включает в себя численные показатели ударной вязкости, текучести расплава и обозначение буквенное особых свойств материала или метода его переработки. Для примера, маркировка АБС-0708Т обозначает АБС пластик с ударной вязкостью 7 кДж/м<sup>2</sup>, текучестью расплава – 8 г/10 мин и с повышенной (Т) теплостойкостью. Акрилонитрилбутадиенстирол – получают путем сополимеризации трех мономеров:

- акрилонитрила (жидкость, бесцветная, имеет резкий запах);
- бутадиена (газ, бесцветный, имеет неприятный характерный запах);
- стирола (жидкость, бесцветная, имеет резкий запах).

АБС материал представляет из себя двухфазную систему. Непрерывную фазу в нем образует акрилонитрил, имеющий молекулярную массу 120 – 180, и сополимер стирола. Непрерывная фаза представляет собой жесткую матрицу, в которой частицы бутадиенстирольного каучука с размером от 0,5 до 2 мкм

составляют дисперсную фазу. Доля дисперсной фазы от общей массы пластика лежит в пределах 15 – 30 %.

АБС-сополимер относится к группе инженерных пластиков. По показателям механической прочности, жесткости и ударопрочности акрилонитрилбутадиенстирол значительно превосходит ударопрочный полистирол, полистирол обычный и многие другие стирольные сополимеры. АБС пластик износостоек, выдерживает кратковременный нагрев до 90...100 °С. Максимальная температура при длительной эксплуатации лежит в пределах от 75 до 80 °С. АБС пластик широко применяется для нанесения на него гальванического покрытия и вакуумной металлизации. Он легко сваривается, также применяется для точного литья [5]

#### ***Преимущества АБС пластика:***

- высокая стабильность размеров;
- устойчивость к щелочам;
- высокая устойчивость к растворам кислот и неорганических солей;
- устойчивость к жирам, смазочным маслам, бензину и углеводородам;

Ровная блестящая поверхность. Имеются марки как с пониженным, так и с повышенным уровнем блеска, а также матовые.

#### ***Основные недостатки АБС пластика:***

- Невысокая устойчивость к ультрафиолетовому излучению.
- Растворимость в бензоле, ацетоне, эфире, анизоле, анилине, этилхлориде и этиленхлориде.
- Невысокая устойчивость к атмосферным воздействиям.

Свойства АБС пластика можно значительно изменять, если модифицировать исходный материал. Так, прозрачный АБС – сополимер получается при использовании четырех мономеров (в качестве четвертого применяется метилметакрилат). Чтобы повысить атмосферостойкость, бутадиен заменяют насыщенным эластомером. Чтобы значительно повысить

теплостойкость АБС пластика, к трем имеющимся мономерам добавляют альфаметилстирол.

– Применение АБС сополимера в промышленности на основе пластика АБС выпускаются полимерные композиционные материалы, имеющие более высокие эксплуатационные и технические характеристики. АБС-пластик и его композиции широко применяются в автомобильной промышленности. На его основе выпускаются пластиковые детали интерьера и внешней отделки автомобилей. Это панели, каркасы, щитки, облицовка дверей, обрамление окон, детали салона, колпаки колес, решетки радиатора, корпуса зеркал и фонарей, бампер, облицовка дверей [5].

**2) Полилактид** – представляет собой биоразлагаемый алифатический полиэфир, находящий широкое применение в биомедицине, фармацевтике, в быту. Применение полилактида в данных областях обусловлено рядом его специфических особенностей, таких как: биосовместимость с тканями человека, способность полностью разлагаться в природной среде, подходящие для практического применения механические и физические свойства. Данные качества полилактида определяются стереорегулярностью его полимерной цепи. Так, нестереоконтролируемая полимеризация наиболее доступного DL-лактида (рацемическая смесь D и L изомеров) приводит к аморфному продукту, не находящему практического применения. Наиболее важным с практической точки зрения является стереорегулярные полилактиды. Так, энантимерно чистый поли-L-лактид имеет температуру плавления 180 °С, высокую степень кристалличности (37 %), а т. н. стереокомплекс, образованный поли-L- и поли-D-лактидами (1:1), обладает наилучшей термостабильностью (имеет температуру плавления 207 °С) среди полилактидов [5].

**3) Бутадиен-стирольные каучуки** – группа продуктов сополимеризации бутадиена-1,3 и стирола или метилстирола наиболее распространенный тип каучуков общего назначения, синтез которых осуществляется в эмульсии по свободно радикальному механизму. СКС относятся к некристаллизирующимся сополимерам нерегулярного строения со статистическим распределением

мономерных звеньев. Около 30 % звеньев стирола изолированы, примерно 40 % расположены попарно, 80 % бутадиеновых звеньев полимерной цепи имеют присоединение в положении 1,4 главным образом в трансформе (около 70 %), около 20 % присоединены в положение 1,2. Разновидностью бутадиен-стирольных каучуков являются бутадиен-а-метилстирольные каучуки (СКМС), характеризующиеся близкими структурой и свойствами.

Широкое распространение СКС объясняется высокими техническими свойствами резины на их основе, пригодностью их для производства шин и других резиновых изделий высокого качества и доступностью мономеров. Промышленный выпуск и потребление бутадиен-стирольных каучуков достигли очень больших размеров [5].

Все перечисленные материалы применяется в 3D принтерах, которые могут печатать конструкцию любой сложности. В энергетике бывают такие моменты, когда требуются изоляторы сложной конструкции. И эти изоляторы можно будет распечатать в 3D принтере.

**3D-принтер** — это устройство, использующее метод создания физического объекта на основе виртуальной 3D-модели. Объекты напечатанные на 3D-принтере, печатаются сразу в 3-х плоскостях. 3D-модель строится вверх уровень за уровнем. Поэтому этот процесс называют быстрым прототипированием или 3D-печатью, которая представлена на рисунке 1.1. 3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта. Разрешение этих принтеров между 328 x 328 x 606 DPI (xyz) и 656 x 656 x 800 DPI (xyz). Точность 0.025 mm — 0.05 mm. Размер модели более 737 mm x 1257 mm x 1504 mm. Даже технологии, которые позволяют увидеть трехмерную компьютерную модель в реальном объеме нельзя назвать сильно распространенными (хотя они уже и находятся на уровне пользовательских, и по цене, и по доступности). Производители профессиональных, 3D-принтеров: Stratasys, 3DSystems. Производители

домашних 3D-принтеров: Reprap.org , Makerbot Industries, Ultimaker , Fab@Home [6].

В качестве примера на рисунке 1.1 приведен внешний вид 3-D принтера производства Makerbot Replicator.



Рисунок 1.1 – 3D принтер, Makerbot Replicator 2

Цель создание таких принтеров в индустрии в основном для изготовления прототипов. На основании проведенного анализа можно сделать заключение что материалы как: 1) АБС пластик 2) Полилактид 3) Бутадиен-стирольные каучуки могли бы найти применение в конструкциях электротехнических изделий, но кроме их механических характеристик, приведенных выше в литературе, не найдено данных по трекингостойкости, электрической прочности, объемному сопротивлению этих материалов. В связи с этим цель работы можно сформулировать следующим образом: создать установку, определить трекингостойкость, электрическую прочность и объемное сопротивление: 1) АБС пластика 2) Полилактида 3) Бутадиен-стирольные каучуки.

Как нам известно на поверхности изолятора из-за электрических разрядов есть возможность появления трещин и как следствие эрозия (рисунок 1.2).

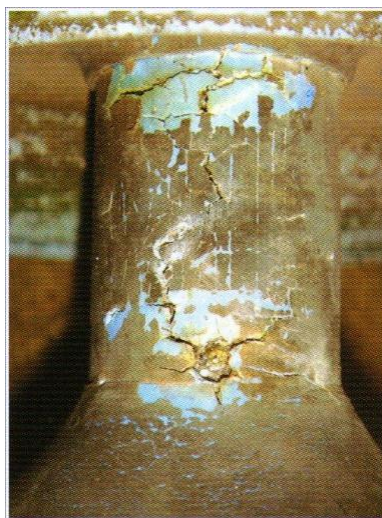


Рисунок 1.2 – Появление трещин при воздействии климатических факторов

Из-за старения полимерных материалов и под воздействием пыли, грязи который накапливается в поверхности изоляторов существенно снижают электрическую прочность полимерных изоляторов. На рисунке 1.3, а приведен ОПН, который ещё не использовался.



а)



б)

Рисунок 1.3 – Внешний вид ОПН; а) – до эксплуатации, б) – после эксплуатации

На рисунке 1.3, б приведен ОПН, который был снят с эксплуатации, так как вышел из строя из-за не соответствия материала оболочки ОПН с климатическими условиями среды, в которой он эксплуатировался. При эксплуатации оборудования пыль накапливалась и постепенно начали образовываться трещины. Это можно объяснить тем, что был неправильно произведен выбор электехнического материала по трекинговой стойкости. Так же в полимерных изоляторах есть понятие как стыковка, это место, где соединяются металл с полимером или полимер с кремний органикой и так же под воздействием климатических условий происходит разгерметизация изоляторов, а это может привести к его пробоя, как по воздушному промежутку полости трубы, так и по внутренней поверхности трубы изолятора рисунок 1.4.

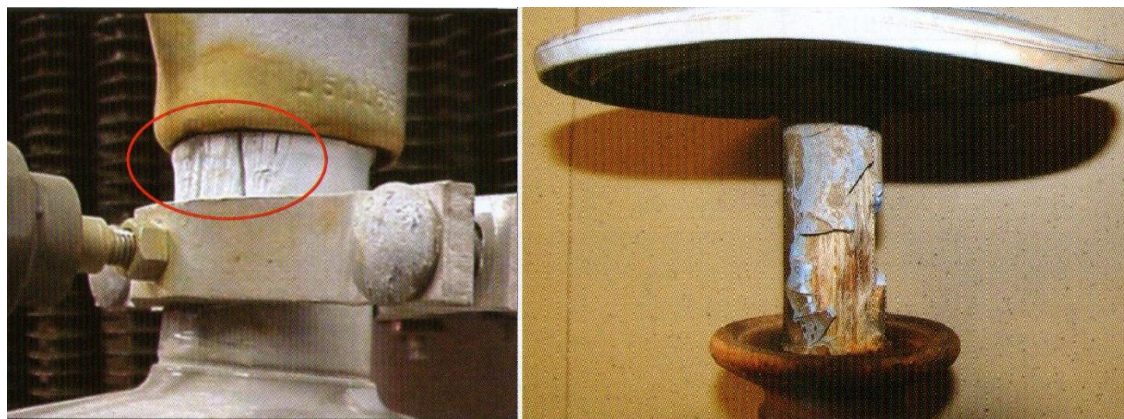


Рисунок 1.4 – Разгерметизация в месте стыков в процессе эксплуатации

Определение трекинговой стойкости материалов напрямую связано с этими факторами, так как трекинговая стойкость определяет устойчивость материала к разрушению. Использование трекинговостойких материалов повышает надежность и долговечность изоляторов в целом. В связи с этим исследование трекинговой стойкости новых полимерных материалов является актуальной темой и обосновывает цель данной работы: определение трекинговой стойкости новых полимерных материалов [6].

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

1. Спроектировать и изготовить установку для проведения испытаний материалов на трекинговую стойкость по ГОСТ 27473-87,

определение электрической прочности по ГОСТ 6433.3-71 и объёмного сопротивления согласно ГОСТ Р 50499-93.

2. Подготовить образцы материалов: 1) АБС пластика 2) полилактида; 3) бутадиен-стирольного каучука для проведения испытаний на трекингостойкость по ГОСТ 27473-87, электрическую прочность по ГОСТ 6433.3-71, определение поверхностного сопротивления по ГОСТ Р 50499-93.

3. Провести испытание на трекингостойкость; измерить электрическую прочность, измерить поверхностное сопротивление.

4. Сделать сопоставление полученных результатов по трекингостойкости с известными материалами: электротехнический фарфор; стеклотекстолит; капралон; органическое стекло; кремний органика [6].

## **2 Методики проведения испытаний**

### **2.1 Методика проведения испытаний на трекингостойкость**

Одним из способов определения трекингостойкости материалов является методика по ГОСТ 27473-87 «Метод определения сравнительного и контрольного индексов трекингостойкости во влажной среде».

Основными преимуществами этого метода являются простота в реализации и использовании, четкое разграничение материалов с относительно низкой трекингостойкостью.

Согласно ГОСТ 27473-87, находится относительная стойкость твердых электроизоляционных материалов к формированию токопроводящих перемычек при приложении напряжения до 600 В, когда поверхность образца, оказавшаяся под напряжением, подвергается воздействию капель воды, содержащей загрязнители.

Токопроводящие перемычки в период испытания образуются при приложении напряжения к электродам конкретной конфигурации, установленным на поверхность образца, и подаче электролита между



электродами по капле через установленные промежутки времени. Число капель, возбуждающее возникновение проводящей перемычки, повышается при уменьшении подаваемого напряжения, и ниже его критической величины образование проводящих перемычек прерывается.

Количественно трекинговая характеристика характеризуется относительным индексом *трекинговости* и дополнительным индексом трекинговости.

Сравнительный показатель трекинговости (СИТ) – величина максимального напряжения в вольтах, при которой образец (материал) выдерживает испытание при нанесении не менее 50 капель электролита без образования токопроводящих перемычек.

Под контрольным индексом трекинговости (КИТ) понимается величина испытательного напряжения в вольтах, при которой материал выдерживает испытание при нанесении 50 капель электролита без образования токопроводящих перемычек[6].

### **2.1.1 Испытуемый образец**

Согласно ГОСТ 27473-87 для определения трекинговости подготавливаются плоские образцы размером не менее 15x15 мм (см. рисунок. 2.1). На образце используется плоская часть с поверхностью, необходимой для того, чтобы во время испытания жидкость не стекала с его краев. Толщина образца должна быть не менее 3 мм. Испытание проводится на местах, где нет царапин и трещин.

Поверхность материала должна быть чистой, очищенной от пыли, грязи, следов пальцев, масла или других загрязнителей, которые влияют на результаты испытаний. Нужно соблюдать аккуратность при очистке материала, чтобы устранить сгорание, размягчение, значительное повреждение плоскости или другие нарушения образца (см. рисунок 2.2) [6].

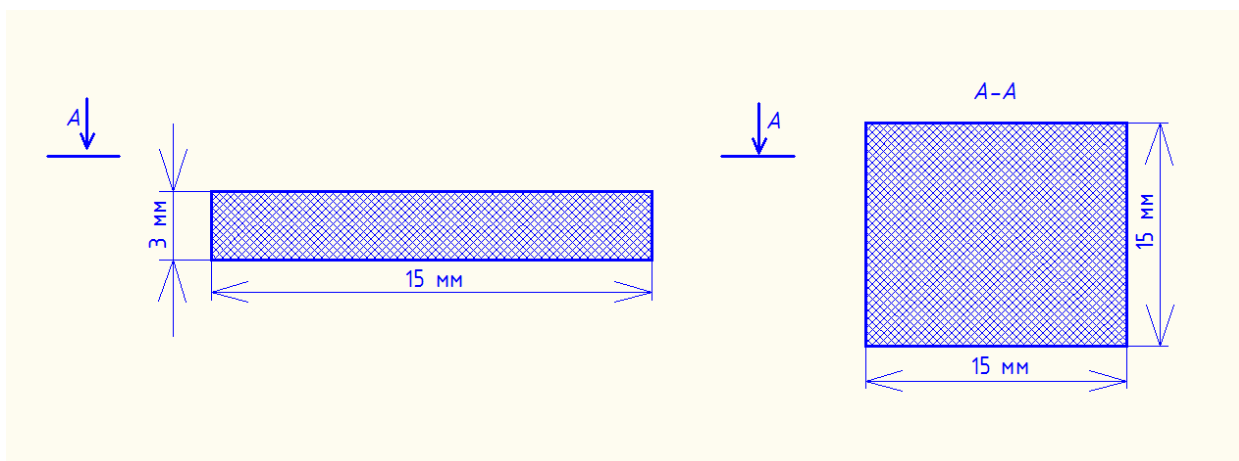


Рисунок 2.1 – Чертеж испытываемых образцов, для испытания на трекингостойкость

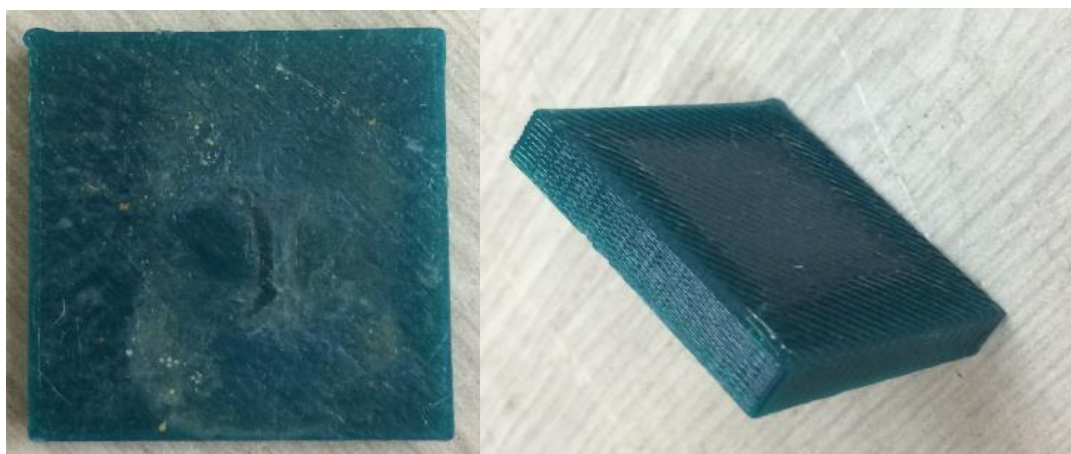


Рисунок 2.2 – ГОТОВЫЙ испытываемый образец, изготовленный на 3D принтере

### ***2.1.2 Испытательный раствор***

В соответствии с ГОСТ 27473-87 применяем  $(0,1 \pm 0,002)\%$  по массе раствор хлорида аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) в дистиллированной воде (раствор А). Удельное сопротивление при  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  составляет  $(395 \pm 5)$  Ом·см. Испытательный раствор играет роль загрязнителя, т. е. он используется для ускорения процесса образования токопроводящих перемычек. Этот процесс ускоряется при снижении удельного сопротивления раствора и зависит от химической природы испытательного раствора.

### 2.1.3 Общие требования

Согласно ГОСТ 27473-87, испытание проводят на образцах, защищенных от сквозняков, при окружающей температуре  $(23\pm 5)^\circ\text{C}$ . Загрязнение электродов может повлиять на результаты испытаний, поэтому их следует очищать перед каждым испытанием.

Испытуемые образцы устанавливают на металлической подставке таким образом, чтобы испытываемая поверхность была горизонтальной, а нажимное усилие скошенных концов обоих электродов на образец было равно нормированной величине 1 А.

Проверяют расстояние между электродами (электроды должны иметь хороший контакт с образцом). Если края электродов подверглись эрозии, их следует восстановить. Значение напряжения должно быть кратно 25 и находиться в интервале 100...600 В. Сопротивление  $R_2$  (см. рисунок 3.1) регулируют таким образом, чтобы ток короткого замыкания был в установленных пределах (меньше 1 А). После этого открывают капельницу, капли электролита наносят на поверхность образца до тех пор, пока не произойдет замыкания в результате образования токопроводящей перемычки или пока не будет нанесено 50 капель [6].

Замыкание фиксируют в том случае, когда ток по токопроводящей перемычке между электродами на поверхности образца достигает 0,5 А и более и протекает не менее 2 с. Этот ток приводит в действие защитное реле РА, или фиксируется возгорание образца, если образец загорается без срабатывания защитного реле РА.

#### ***Примечания:***

– Если на одном образце проводят несколько испытаний, необходимо принять меры к тому, чтобы места испытаний были достаточно удалены друг от друга и не загрязнялись бы брызгами соседних испытаний.

– Если опора испытательного устройства металлическая, она может быть включена в испытательную схему для фиксации замыкания вызванного эрозией образца.

– Так как во время испытания могут выделяться ядовитые или сильно пахнущие газы, необходимо предусмотреть меры для их безопасного удаления.

#### **2.1.4 Определение сравнительного индекса трекинговой стойкости (СИТ)**

Для сравнительного индекса трекинговой стойкости рекомендуется сокращенное обозначение (СИТ).

Устанавливают напряжение на выбранном уровне и проводят испытания до тех пор, пока не будет нанесено 50 капель или пока не произойдет замыкания. Повторяют испытание на других участках при других значениях напряжения до тех пор, пока не будет установлено максимальное напряжение, при котором не происходит замыкания при 50 каплях на пяти участках испытания. Числовой величиной этого напряжения будет СИТ (например, СИТ 425) при условии, что напряжение, сниженное на 25 В, не вызывает замыкания при 100 каплях, при испытании на пяти новых участках. Некоторые материалы не отвечают последнему требованию. Для этих материалов установлено максимальное напряжение, при котором каждый из пяти участков выдерживает 100 или более капель, и величину этого напряжения указывают дополнительно к СИТ, например, СИТ 425 (375).

#### ***Примечания:***

– Если режим поведения материала неизвестен, начальное испытательное напряжение должно находиться в середине испытательного диапазона. Например, задают значение напряжения 300 В. Напряжение повышают, если образец выдерживает испытание при нанесении 50 капель электролита, или уменьшают, если образец выходит из строя до воздействия 50 капель. Изменение напряжения должно составлять 25 В или быть кратным 25. Процесс продолжают до тех пор, пока не будет установлено наивысшее

напряжение, при котором пять образцов выдерживают испытание при нанесении 50 капель электролита.

– Для большинства материалов пятидесятикапельное напряжение (при котором они выдерживают испытание при нанесении 50 капель электролита без образования проводящей перемычки) приближается асимптотически к некоторой величине, поэтому его называют асимптотическим напряжением.

Испытание напряжением на 25 В ниже пятидесятикапельного имеет целью подтвердить это предположение. Чем будет ниже стокапельное напряжение пятидесятикапельного, тем больше стокапельное напряжение будет удалено от асимптотического.

– При более высоких напряжениях или напряжениях, превышающих пятидесятикапельное, может происходить замыкание (которое вызывает срабатывание защитного реле), но не в результате проводящих перемычек, как указано в п. 2.1, а в результате накопления раствора и загрязнителя в канавках или углублениях на поверхности. В этом случае проводят новые испытания или указывают в протоколе испытаний, что невозможно получить нормальные результаты испытаний.

Алгоритм проведения испытания на трекингостойкость может быть представлен в виде диаграммы, приведенной на рисунке 2.3 [6].

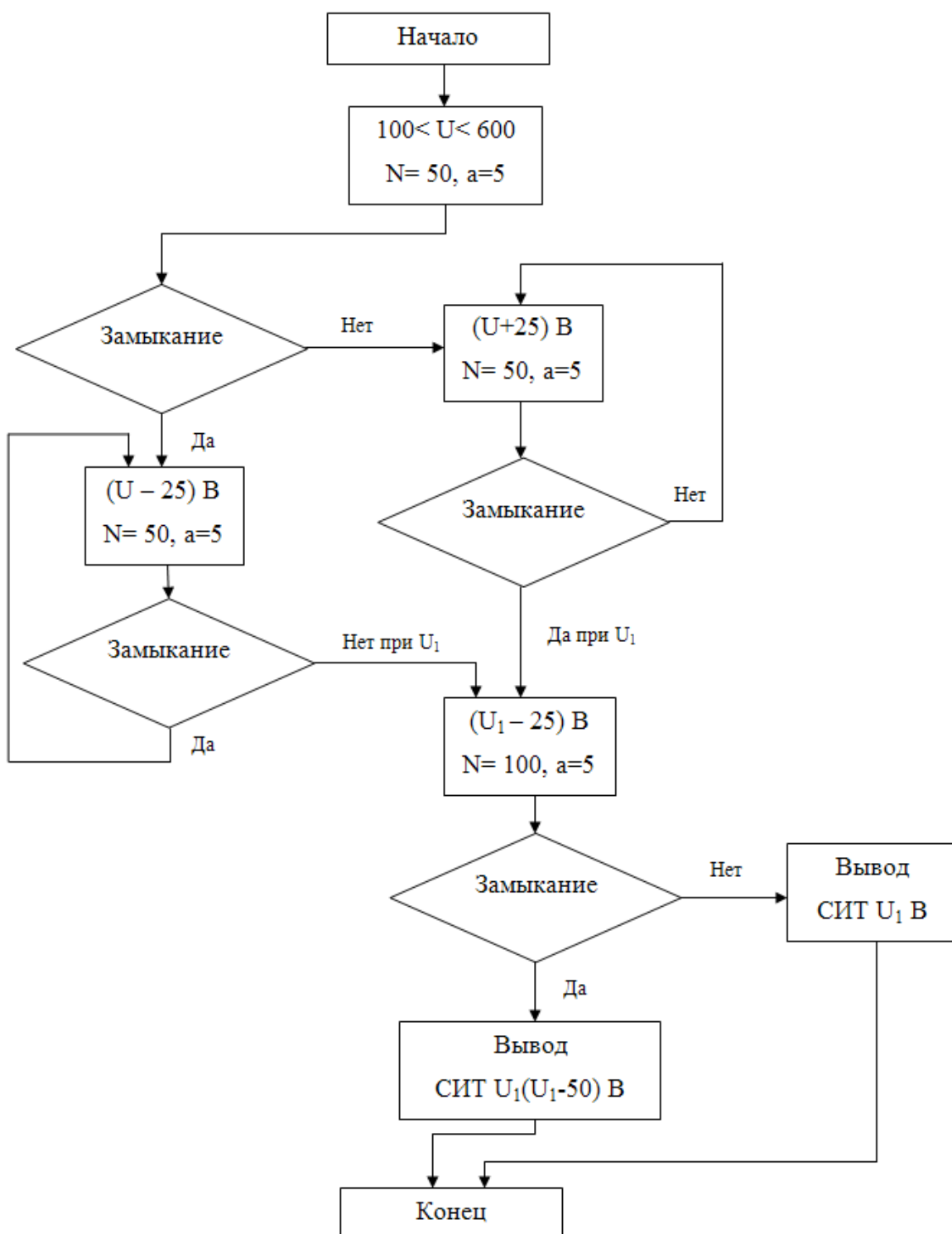


Рисунок 2.3 – Алгоритм проведения испытания на трекингостойкость

## 2.2 Методика определения электрической прочности материала

Этот метод будем выполнять по ГОСТ 6433.3-71 "Материалы электроизоляционные твердые. Метод определения электрической прочности при переменном (частоты 50 Гц) напряжении". Настоящий стандарт

распространяется на твердые электроизоляционные материалы, и устанавливаются для этих материалов методы определения электрической прочности ( $E_{np}$ ) при переменном напряжении.

Твердые диэлектрики очень широко применяются в качестве изолирующих материалов в электротехнических устройствах (электрических машинах, кабелях, конденсаторах, трансформаторах, и т. д.). При пробое твердых диэлектриков, в отличие от пробоя газообразных и жидких диэлектриков, происходит необратимый процесс их разрушения, т.е. не происходит восстановления электрической прочности после снятия напряжения. Различают три вида пробоя твердых диэлектриков: электрический, тепловой и электрохимический. Последний вид пробоя происходит, в основном, в условиях повышенной температуры и влажности воздуха. В этих условиях происходят электрохимические процессы старения изоляционных материалов, приводящие к необратимому уменьшению сопротивления изоляции и в итоге – к её пробое. Процесс старения носит длительный характер. Электрический пробой однородных твердых диэлектриков происходит под действием ударной ионизации их молекул или в результате неупругого смещения (т.е. без возврата на прежнее место) связанных зарядов диэлектрика под действием внешнего электрического поля. Опыт показывает, что пробивное напряжение изоляции зависит от ее толщины (т. е. от расстояния между электродами  $a$ ): чем толще слой данного электроизоляционного материала, тем выше его пробивное напряжение. В то же время слои одной и той же толщины из разных электроизоляционных материалов имеют различные значения пробивных напряжений. Это дает основание для введения параметра электроизоляционного материала, определяющего его способность противостоять пробое – электрической прочности  $E_{np}$ .

Для простейшего случая равномерного электрического поля в диэлектрике можно принять:

$$E_{np} = \frac{U_{np}}{a} \quad \text{отсюда} \quad U_{np} = E_{np} \cdot a$$

Электрическая прочность диэлектрика может рассматриваться как пробивная напряженность электрического поля, т. е. та величина напряженности поля в диэлектрике, при достижении которой (в данном месте) происходит его пробой. Чаще всего, говоря об электрической прочности электроизоляционного материала, имеют в виду среднюю пробивную напряженность, т. е. отношение пробивного напряжения к толщине слоя электроизоляционного материала, (для электрического поля, приближающегося к равномерному). Определяя  $U_{пр}$  в вольтах, а  $a$  - в метрах, мы получаем основную единицу СИ для  $E_{пр}$  – вольт на метр (В/м). На практике весьма распространены и такие единицы, как кВ/мм, кВ/см, В/мкм и др. Легко видеть, что единица кВ/мм (или равная ей единица В/мкм) может быть представлена как единица СИ – МВ/м. Большое число инородных включений значительно снижает электрическую прочность твердых диэлектриков. Электрическая прочность однородных твердых диэлектриков, находящихся в однородном поле, максимальна и достигает 100кВ/мм. Наименьшую электрическую прочность имеют твердые диэлектрики с большим числом газовых включений, находящиеся в резконеоднородном поле. Наиболее однородными твердыми диэлектриками являются стекло, слюда и материалы на их основе. Электрический пробой развивается быстро за время  $t \leq 10^{-5}$  с.

Тепловой (электротепловой) пробой происходит в результате нагрева диэлектрика за счет протекающих через него токов, т.е. за счет диэлектрических потерь, вызываемых этими токами. На постоянном напряжении диэлектрические потери создаются в диэлектрике протекающим через него сквозным (объемным) током утечки. На переменном напряжении к этим потерям добавляются диэлектрические потери, вызываемые током абсорбции - током замедленных видов поляризации. Поэтому потери на переменном напряжении в одном и том же диэлектрике больше, чем на постоянном, если величины этих напряжений и условия, в которых находится



диэлектрик, одинаковы. Диэлектрические потери, а, следовательно, и выделяемая в диэлектрике тепловая мощность  $R_{\text{выд}}$ , растут с увеличением приложенного напряжения. Наряду с выделяемой в диэлектрике тепловой мощностью  $R_{\text{выд}}$ , диэлектрик отводит (рассеивает) в окружающую среду тепловую мощность  $R_{\text{отв}}$ . Если  $R_{\text{выд}}$  превысит  $R_{\text{отв}}$ , будет происходить интенсивный разогрев диэлектрика, что приведет в итоге к его тепловому пробоям. Тепловой пробой твердого диэлектрика чаще всего происходит в случае его высокой проводимости, т.е. больших токов утечки. Это характерно для дефектной изоляции, имеющей значительное количество газовых и других инородных включений. Для снижения вероятности теплового пробоя необходимо устранять дефекты изоляции (путем её качественной пропитки специальными изоляционными составами), а также увеличивать величину отводимой тепловой мощности, за счет увеличения поверхности (площади) диэлектрика, отводящей тепло, применения газового обдува или жидкостного охлаждения. Различия между электрическим и тепловым пробоями сводятся к следующему: – пробивное напряжение  $U_{\text{пр}}$  электрического пробоя не зависит от времени действия напряжения и температуры окружающей среды, а теплового – существенно зависит; – величина  $U_{\text{пр}}$  при электрическом пробое определяется амплитудным значением напряжения, а при тепловом – действующим; – электрический пробой происходит в местах наибольшей напряженности электрического поля, а тепловой – в местах наихудшего теплоотвода; – канал электрического пробоя мало заметен, канал теплового пробоя ярко выражен, в месте пробоя диэлектрик обугливается [7].

### 2.2.1 Отбор образцов

Образцы для испытаний не должны иметь видимых невооруженным глазом короблений, препятствующих плотному прилеганию электродов, а также трещин, сколов, вмятин, загрязнений. Поверхности образцов, подвергавшиеся механической обработке, должны быть гладкими, без выбоин.

Форма, размеры, количество образцов для испытания должны указываться в стандартах или технических условиях на материал из числа рекомендуемых настоящим стандартом. Форма, размеры и количество образцов для определения электрической прочности в направлении, перпендикулярном к поверхности образца, или у слоистых материалов - в направлении, перпендикулярном к слоям, должны выбираться из таблицы 2.1.

Таблица 2.1. Форма, размеры и количество образцов.

Форма образцов	Размер образца (диаметр круга, сторона квадрата, длина трубы или стержня, ширина ленты или полосы), мм	Количество образцов
Плоская (круг, квадрат)	От 10 до 150	от 5 до 20
Трубчатая (цилиндрическая)	От 100 до 300	
Лента, полоса	От 15 до 35	

***Примечание:***

Если напряжение перекрытия образцов при определении электрической прочности оказывается ниже пробивного напряжения или на поверхности образца возникают скользящие разряды и образцы нельзя пробивать в изоляционной жидкости, допускается использовать образцы больших размеров, что должно быть оговорено в стандартах или технических условиях на материал. Чертежи образцов для испытания на электрическую прочность приведена на рисунке 2.4, а их внешний вид – на рисунке 2.5.

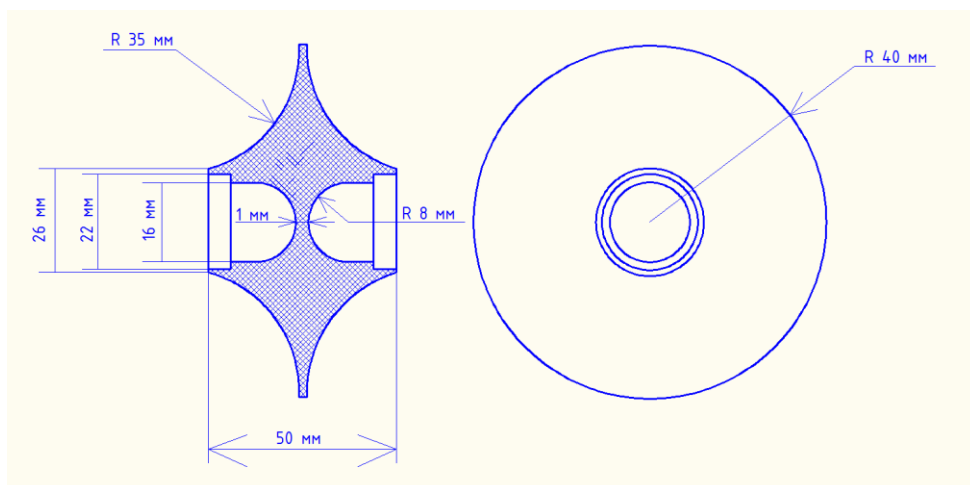


Рисунок 2.4 – Чертеж испытываемого образца для испытания на электрическую прочность.



Рисунок 2.5 – Готовый испытываемый образец, напечатанный на 3D принтере

Измерение толщины образцов производится до испытания. Методика измерения толщины должна указываться в стандартах или технических условиях на материал [7].

Погрешность измерения толщины не должна превышать  $\pm(1\%+0,002 \text{ мм})$ .

Разброс по толщине образца не должен превышать 2% при толщинах больше или равных 0,5 мм и 5% при толщинах меньше 0,5 мм.

Толщина лаковой пленки, нанесенной на металлическую пластину, должна определяться посредством измерения общей толщины за вычетом из

полученного результата толщины металла. Если металлическая пластина покрыта лаковой пленкой с двух сторон, то полученный результат делят пополам [7].

## **2.3 ГОСТ 50499-93 Материалы электроизоляционные твердые**

### **2.3.1 Методы определения поверхностного сопротивления**

Настоящий стандарт подготовлен методом прямого применения международного стандарта МЭК 93-80 "Методы определения удельного объемного и поверхностного сопротивления твердых электроизоляционных материалов" с дополнительными требованиями, отражающими потребности народного хозяйства [8].

#### ***Область распространения***

Настоящий стандарт распространяется на методы определения удельного объемного и поверхностного сопротивления и содержит соответствующие расчеты для определения упомянутых параметров твердых электроизоляционных материалов.

На результаты определения удельного объемного и поверхностного сопротивления влияют следующие факторы: амплитуда и время приложения напряжения, геометрия и природа электродов, температура и влажность окружающей атмосферы и образцов при кондиционировании и измерениях.

#### ***Поверхностное сопротивление***

Частное от деления значения постоянного напряжения, приложенного между двух электродов на поверхности образца, на значение тока между электродами в данное время после включения тока без учета возможной поляризации электродов. Если не указано иначе, поверхностное сопротивление определяют через 1 мин после подачи напряжения. Ток обычно проходит через поверхностный слой образца и любые соединения влажности и загрязнения, а, кроме того, включает составляющую тока через объем образца [8].

## *Назначение*

В основном электроизоляционные материалы используются для изоляции частей электрической системы друг от друга и от земли; твердые изоляционные материалы могут выполнять также функции механической опоры. Для этой цели обычно желательно иметь как можно большее сопротивление изоляции при наличии соответствующих механических, химических свойствах и нагревостойкости. Поверхностное сопротивление сильно зависит от влажности, а объемное сопротивление изменяется медленно, хотя окончательная величина изменения может быть больше.

Поверхностное сопротивление или поверхностную проводимость трудно измерить точно, т.к. в измерениях присутствует в той или иной мере объемная проводимость. Измеряемая величина в основном характеризует загрязнение поверхности образца при измерении.

Однако, диэлектрическая проницаемость образцов влияет на осаждение примесей, а их проводящая способность зависит от характеристик поверхности образца. Удельное поверхностное сопротивление не является свойством материала в обычном смысле, его можно рассматривать как относящееся к свойствам материала при наличии загрязнения. Некоторые материалы, такие как слоистые, могут иметь различное удельное сопротивление в поверхностном и внутреннем слоях. В связи с этим интерес представляет измерение истинных свойств, присущих чистой поверхности материала. Следует точно указать методику очистки поверхности для получения результатов, учитывая влияние воздействия растворителей и других факторов процесса очистки на поверхностные характеристики.

Поверхностное сопротивление, особенно при больших его значениях, часто имеет неустановившееся значение и в общем случае сильно зависит от времени воздействия напряжения; для измерений обычно указывается время выдержки под напряжением 1 мин [8].

### ***Источник питания***

Для проведения испытаний требуется источник хорошо стабилизированного постоянного напряжения. Таким источником могут служить батареи или стабилизатор-выпрямитель. Степень стабильности должна быть такова, чтобы изменение тока за счет изменения напряжения было значительно меньше по сравнению с измеряемым током.

Обычно используют следующие значения напряжения, прикладываемого ко всему образцу: 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 10000, 15000 В. Из этого ряда чаще используют значения 100, 500 и 1000 В. В некоторых случаях сопротивление образца зависит от полярности прикладываемого напряжения.

Если сопротивление зависит от полярности прикладываемого напряжения, следует указать это в протоколе испытания. За результат принимают среднее геометрическое (среднее арифметическое логарифмических экспонент) двух значений сопротивления.

Поскольку сопротивление образца может зависеть от напряжения, следует указать также значение напряжения.

## **2.3.2 Методы измерения и точность**

### ***Метод измерения***

Обычно употребляют прямые или сравнительные методы измерения высоких значений сопротивления.

Прямые методы базируются на одновременном измерении значения постоянного напряжения, подаваемого на образец с неизвестным сопротивлением и током, протекающим через него (метод вольтметра-амперметра).

Методы сравнения устанавливают соотношение неизвестного сопротивления и сопротивления известного резистора с помощью мостовой схемы или сравнением токов через сопротивления при фиксированном напряжении.

Примеры, иллюстрирующие эти принципы приведены в приложении А.

Метод вольтметра-амперметра требует наличия достаточно точного вольтметра, но чувствительность и точность метода зависят в основном от характеристик измерительного устройства, которым может являться гальванометр, прибор с электронным усилением или электрометр.

Метод моста требует наличия чувствительного детектора тока в качестве нуль-индикатора, а точность в основном определяется известными резисторами плеча моста, которую можно получить с высокой сходимостью и стабильностью в широком диапазоне сопротивлений. Точность метода сравнения токов зависит от точности известного резистора и от стабильности и линейности прибора измерения тока, включая измерительные резисторы и т.д., при этом точные значения тока не имеют значения при наличии постоянного значения напряжения. Для сопротивлений порядка 10 Ом можно использовать определение удельного объемного сопротивления в соответствии с п.10.1 с использованием гальванометра в методе вольтметра-амперметра. Для более высоких значений сопротивления рекомендуется использовать усилитель постоянного тока или электрометр.

По методу моста нельзя непосредственно измерить ток в короткозамкнутом. Метод с использованием устройства, измеряющего ток, позволяет автоматически регистрировать ток, что облегчает контроль стабильности измерений. Имеются специальные схемы и приборы для измерения высоких сопротивлений. Их можно использовать при условии, если они достаточно стабильны и точны при необходимости обеспечивают соответствующее закорачивание образца и измерение тока перед включением напряжения [8].

### ***Точность***

Измерительное устройство должно обеспечивать определение значения неизвестного сопротивления с суммарной точностью не менее  $\pm 10\%$  для

сопротивлений меньше 10 Ом и  $\pm 20\%$  для более высоких значений рекомендуется следующий метод.

Данный метод базируется на схеме, приведенной на рисунке 2.6. Прикладываемое к образцу напряжение измеряется вольтметром постоянного тока. Ток измеряется устройством для измерения тока, например, гальванометром (в настоящее время используется редко), прибором с электронным усилителем или электрометром.

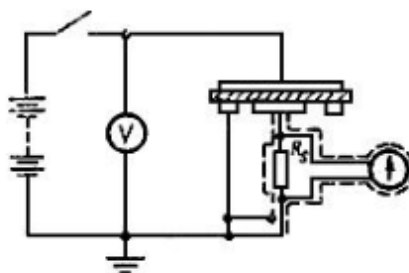


Рисунок 2.6 – Схема метода вольтметр-амперметр для измерения поверхностного сопротивления материала

### ***Защита***

Изоляция измерительных схем изготовлена из материалов, в лучшем случае имеющих свойства, сравнимые с испытываемыми материалами.

Ошибки измерений образца могут быть связаны:

- с паразитными токами от паразитных внешних напряжений, которые обычно имеют неизвестную величину и произвольный характер;
- с произвольным шунтированием сопротивления образца, эталонного резистора или устройства измерения тока изоляцией, которая имеет неизвестное сопротивление, возможно переменное по величине.

Полностью избежать этих погрешностей можно, используя насколько возможно высокие значения сопротивления изоляции на всех участках схемы. Это может привести к созданию громоздких устройств, которые вместе с тем не могут обеспечить измерения сопротивления изоляции выше нескольких сотен



МОм. Более удовлетворительных результатов можно добиться, используя методику защиты.

Защита обеспечивается введением во всех критических изолированных участках схемы защитных проводников, которые прерывают все паразитные токи, которые в противном случае могут привести к ошибкам измерения. Защитные проводники соединены между собой, образуя защитную систему, формируя вместе с измерительными терминалами трехтерминальную сеть.

При соответствующем соединении паразитные токи от паразитных внешних напряжений шунтируются от измерительной цепи схемы защитной системой; сопротивление изоляции от любого измерительного терминала к защитной системе шунтирует элемент цепи схемы, который должен иметь намного меньшее сопротивление, и тогда сопротивление образца является единственным прямым путем между измерительными терминалами. Используя такую методику, можно значительно уменьшить вероятность погрешности [8].

### 2.3.1. Испытуемые образцы

Удельное поверхностное сопротивление

Для определения удельного поверхностного сопротивления испытуемый образец может иметь практически любую удобную форму, позволяющую использовать третий электрод для защиты от погрешности, связанной с объемными эффектами.

Измеренное таким образом сопротивление включает поверхностное сопротивление между электродами 1 и 2 см. рисунок 2.7. При условии придания электродам соответствующих размеров, можно достичь пренебрежимо малой величины влияния поверхностного сопротивления в широком диапазоне окружающих условий и свойств материала. Это условие может быть достигнуто для размещения электродов, показанных на черт. см. рисунок 2.7. Поверхностный зазор  $g$  должен быть, по крайней мере, в два раза больше толщины образца; на практике берется минимальное значение 1 мм. Диаметр  $d_1$  (или длина  $l_1$ ) защищенного электрода должен быть не менее чем в

10 раз больше толщины образца  $h$ . На практике обычно берется значение не менее 25 мм.

В качестве альтернативного варианта можно использовать прямые электроды или другие варианты с соответствующими размерами.

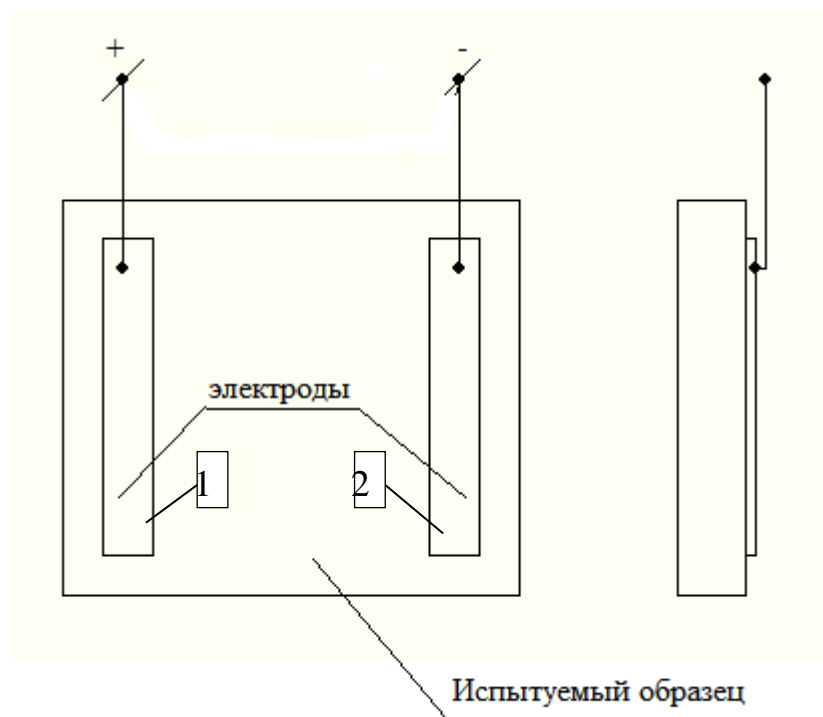


Рисунок 2.7 – Чертеж испытуемых образцов

Как выше сказано уже испытание проводится на постоянном напряжении на испытуемый, образец приклеивается электроды. На электроды 1 и 2 прикладывают напряжения и снимают значения с установки

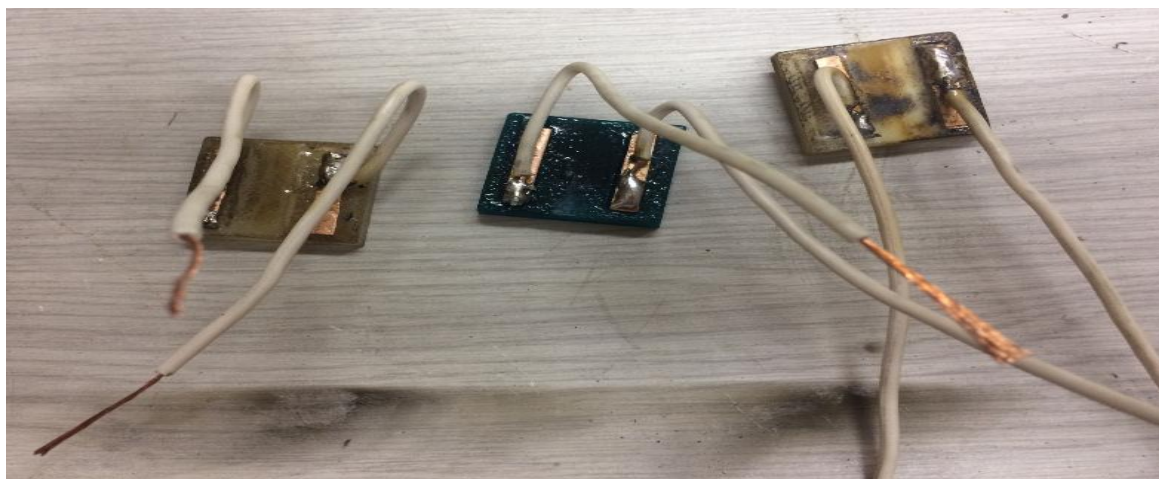


Рисунок 2.8. – Готовые образцы для испытаний

### 2.3.2. Материал электродов

Электроды для электроизоляционных материалов должны быть изготовлены из материала, позволяющего легко их использовать, обеспечивающего хороший контакт с поверхностью образца и не вносящего погрешность за счет сопротивления электрода или загрязнения образца. Материал электрода должен быть стоек к коррозии в условиях испытания. Ниже приведены типичные материалы электродов. Электроды используются с соответствующими подложками данной формы и размеров.

Может быть целесообразным употребление двух различных материалов электродов или двух методов применения для выяснения значения вносимой погрешности [9].

#### *Проводящая серебряная краска*

Применяют некоторые типы имеющихся в продаже серебряных красок с высокой проводимостью, отверждаемых воздушной сушкой или при низкотемпературном отжиге, достаточно пористых для диффузии влаги через них, что позволяет кондиционировать образцы после нанесения электродов.

Это особенно полезное свойство при исследовании взаимосвязи влажности и сопротивления и температурных изменений. Однако перед нанесением проводящей краски в качестве материала электродов следует убедиться, что растворитель краски не влияет на диэлектрические свойства образца.

Относительно ровные края защитных электродов можно получить за счет использования тонкой кисти. Однако, для кольцевых электродов более четко выраженные края можно получить путем использования циркуля, очертив внешние края кольца и заполнив промежуток краской с помощью кисти. Если электрод наносится распылением, можно использовать прижимные маски.

### ***Коллоидный графит***

Можно также использовать коллоидный графит, диспергированный в воде или другой подходящей среде в соответствии с условиями, указанными в п.7.2.

### ***Металлическая фольга***

Металлическая фольга может быть приложена к поверхности пробного образца как электрод для измерения объемного сопротивления, но этот метод не подходит для измерения поверхностного сопротивления материалов

Электроды следует накладывать, разглаживая с давлением, достаточным для удаления всех складок и отжима излишков смазки к краю фольги, где ее можно стереть кусочками ткани. Можно разглаживать пальцем или мягким материалом. Эта методика эффективна для образцов с ровной поверхностью. При аккуратном наложении толщина адгезивного слоя может быть уменьшена до 0,0025 мм и меньше.

Важно, чтобы паразитные токи между электродами или измерительными электродами и землей не оказывали заметного влияния на результаты измерений. Необходимо аккуратно накладывать электроды, производить манипуляции с образцом и крепить образцы для измерений, чтобы избежать возможного образования проводящих дорожек, которые могут отрицательно повлиять на результаты измерения.

Когда измеряется поверхностное сопротивление, поверхность не должна очищаться, если это специально не оговорено.

Части поверхности, на которой проводят измерения, нельзя ничем касаться, кроме нетронутой поверхности другого образца из того же материала [9].

### **2.3.3 Методика испытания**

Размеры образцов, электродов и ширина поверхностного зазора измеряются с точностью  $\pm 1\%$ . Однако для тонких образцов в соответствующих

спецификациях могут быть установлены другие значения точности, когда это целесообразно.

**Примечание.** Для тонких образцов следует измерять толщину до наложения электродов.

Для определения удельного объемного сопротивления следует определить среднюю толщину каждого образца в соответствии с техническими требованиями. Точки измерения равномерно распределяют по площади, закрываемой защищенным измерительным электродом.

В общем случае необходимо измерять сопротивление при температуре и влажности, соответствующим условиям кондиционирования (кроме кондиционирования погружением в жидкость). В некоторых случаях однако, достаточно провести измерения через указанное время после кондиционирования.

Подается установленное постоянное напряжение и определяется сопротивление между измерительными электродами на поверхности образца. Сопротивление определяют через 1 мин после включения напряжения даже в том случае, если ток не достигает, устойчивого значения за указанный интервал времени.

### **3 Конструкции и установки для испытания новых полимерных материалов**

#### **3.1.1 Установка для определения трекинговой стойкости**

Для проведения испытаний материалов на трекинговую стойкость была разработана установка, электрическая схема которой приведена на рисунке 3.1. К электродам прикладываем синусоидальное напряжение частотой 48-60 Гц, которое можно изменять в пределах 100-600 В.

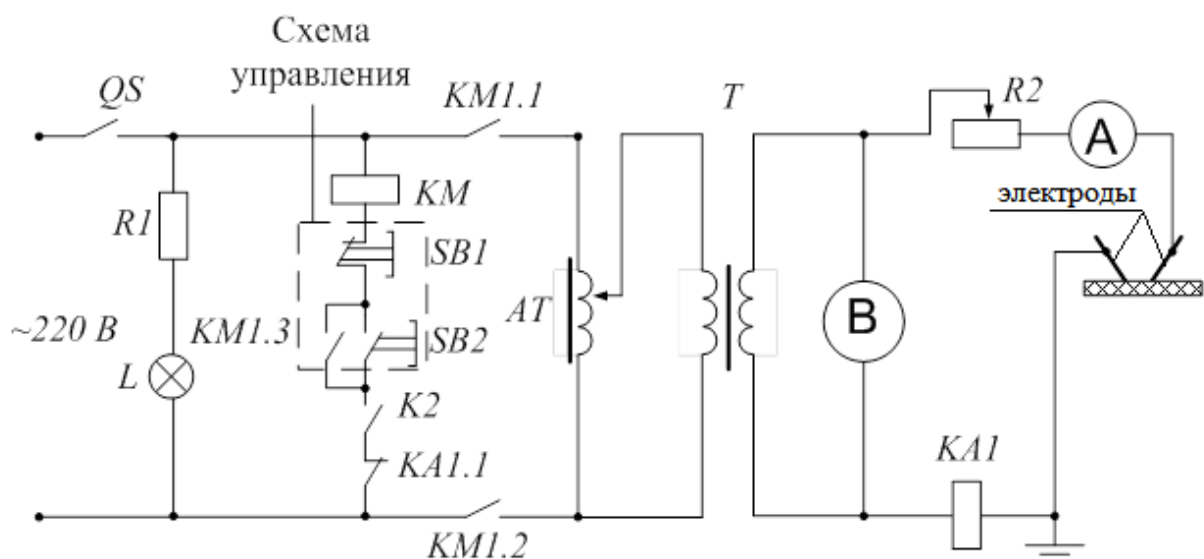


Рисунок 3.1 – Электрическая схема установки; QS – автоматический воздушный выключатель ВА47-29 16А С; R1 – защитный резистор ЕлПК 390 Ом; KM1 – магнитный пускатель ПМ12 16А; KM1.1, KM1.2, KM1.3 – контакты магнитного пускателя; SB1, SB2 – контакты кнопки Стоп, Пуск, соответственно; KA – реле максимального тока РТ-40/20 УХЛ4; AT – автотрансформатор ЛАТР-2М; Т – повышающий трансформатор; R2 – переменное сопротивление для ограничения тока через трек; L – сигнальная лампа напряжения; K2 – блокировочные контакты двери ограждения.

Назначение элементов установки для испытания материалов на трекингостойкость

Ввод служит для питания от источника сети переменного напряжения 220 В.

Коммутаторы включают в себя магнитный пускатель KM, воздушный автоматический выключатель QS, коммутатор (пуск/стоп). Магнитный пускатель KM в сочетании с реле KA, коммутатором и воздушным автоматическим выключателем QS служит для подачи и отключения при отключении питающего напряжения.

Индикатор: светодиод красного света L, сигнализирующий о наличии напряжения.

Преобразователь напряжения служит для преобразования переменного напряжения 220 В в регулируемое напряжение от 0 до 600 В. Для этой цели используются лабораторный автотрансформатор АТ (ЛАТР) и повышающий трансформатор Т с коэффициентом трансформации 3.

Реостат R2 служит для ограничения тока во вторичной цепи трансформатора Т до 1 А при замыкании электродов. Он состоит из переменного сопротивления 0 – 400 Ом и двух включаемых последовательно резисторов сопротивлением 100 Ом. Этот реостат позволяет изменить сопротивление от 0 до 600 Ом, используя переключатель, у которого имеются 2 положения 400 Ом и 600 Ом.

Защитное устройство: реле максимального тока КА, обмотка КА1 которого последовательно включают во вторичной цепи трансформатора, его контакт КА1.1 последовательно соединяется с обмоткой пускателя КМ1. При достижении тока во вторичной цепи трансформатора до 0,5 А, контакт КА1.1 размыкается и приводит в действие пускатель, который отключает питающее напряжение.

Измерительный прибор: амперметр А предназначен для измерения тока в цепи; Омметр – для измерения значения сопротивления реостата R2; вольтметр В – для измерения напряжения вторичной цепи трансформатора. В качестве омметра и вольтметра можно использовать мультиметр, для которого на панели помещаются вводы.

Испытательная камера с прозрачными смотровыми окном и дверкой, сделанными из оргстекла. Для безопасности работы и предотвращения прикосновения оперативного персонала к электродам, находящимся под напряжением, на дверке помещены контакты К2. Напряжение подается на электроды только в случае, когда контакты К2 находятся в замкнутом состоянии.

## Электроды

Основным элементом ячейки является система электродов с габаритами, соответствующими стандартам, как показано на рисунке 3.2. Эти электроды изготавливаются из меди с прямоугольным поперечным сечением 5x2 мм. Срезанный под углом 30° край закруглен радиусом 0,1 мм. Электроды установлены симметрично в вертикальной плоскости, угол между ними равен 60°, поверхности срезов электродов вертикальны и удалены друг от друга по плоской горизонтальной поверхности образца на  $(4,0 \pm 0,1)$  мм. Расстояние между электродами можно регулировать.

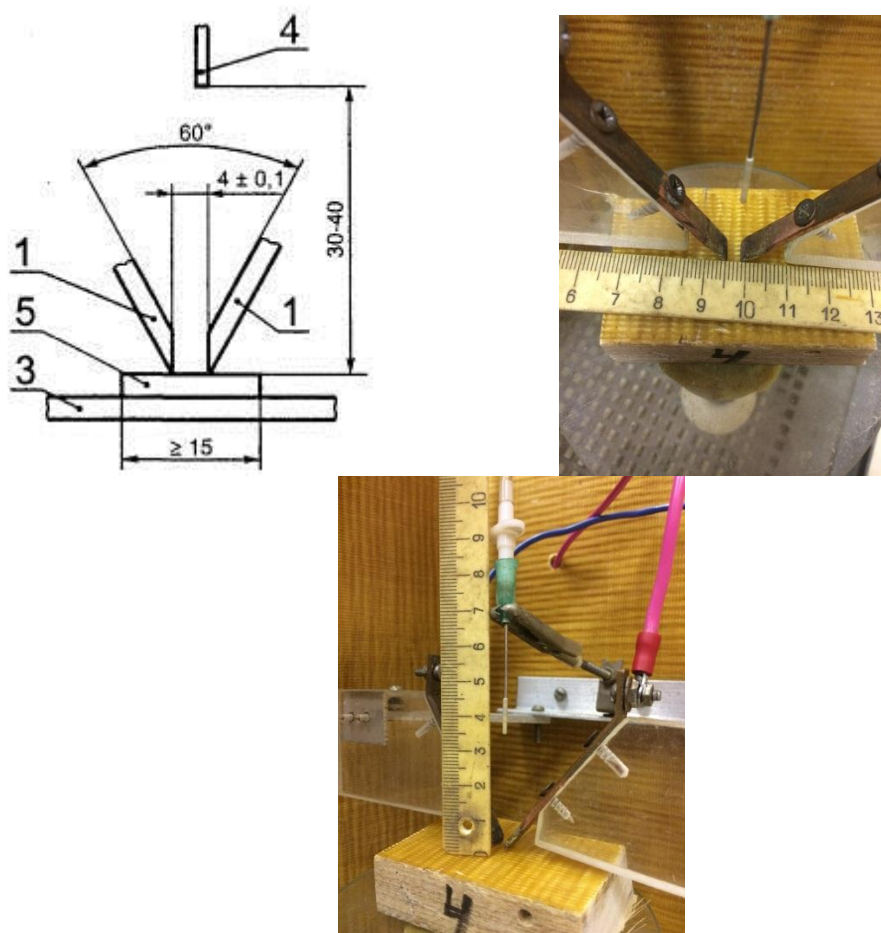


Рисунок 3.2 – Расположение электродов и их размеры; 1 – медный электрод; 5 – образец; 3 – стеклянная подставка ; 4 – конец капельницы



Для того чтобы смачивать каплями испытательного раствора (электролита) поверхность образца используют капельницу, в состав которой входят:

Сосуд для хранения электролита.

Эластичный водопровод с регулирующим элементом для регулирования потока воды. Регулирующий элемент установлен так, чтобы интервалы между падающими каплями были  $(30 \pm 5)$  с.

Игла наружным диаметром 1,1 мм, при этом в 1 см<sup>3</sup> жидкости содержится 46 капель, что удовлетворяет требованию ГОСТ 2747387 (в 1 см<sup>3</sup> жидкости должно быть не менее 44 и не более 50 капель). Это условие гарантирует требуемое количество электролита, попадающего на образец.

Образец располагается на диэлектрической опоре, длину которой можно изменять.

### ***Принцип действия установки***

Напряжение от сети 220 В, 50 Гц через пакетный выключатель *QS* подводится к сигнальной лампе *L* красного света, через блокировочные контакты *K2* и на схему управления. При нажатии на кнопку пуск замыкаются ее контакты *SB2*. Напряжение питания подается на катушку магнитного пускателя *KM1*, срабатывает магнитный пускатель *KM* и напряжение через его контакты *KM1.1*, *KM1.2*, *KM1.3* подводится к регулировочному автотрансформатору *AT*. Напряжение, снимаемое с автотрансформатора, подводится к высоковольтному трансформатору *T*, а с его вторичной обмотки к образцу. Вращая рукоятку автотрансформатора *AT*, повышают напряжение на образце до необходимого значения. Значение напряжения контролируется вольтметром *V*. При возникновении замыкания между электродами, во вторичной и первичной обмотках высоковольтного трансформатора возникает бросок тока, за счет чего срабатывает реле максимального тока *KA1*, которое своим контактом *KA1.1* разрывает цепь питания магнитного пускателя *KM*. За счет этого происходит размыкание его контактов *KM1.1*, *KM1.2*, *KM1.3* и

разрывается цепь подачи напряжения на автотрансформатор и первичную обмотку высоковольтного трансформатора [10].

### ***Общий вид установки***

Общий вид установки выглядит, как приведена на рисунке 3.3 габаритные размеры установки 50x60x40 весом 34 килограмма в лицевой части размещены панель управления; регулятор напряжением, амперметр, вольтметр, кнопки контактов пуск стоп ну для наблюдения процессом прозрачная стенка.



Рисунок 3.3 – Общий вид установки для определения трекинговой стойкости

### ***Указание по проведению эксперимента***

Убедиться, что устройство, используемое в эксперименте, отключены от сети электропитания (сигнальная лампа  $L$  не горит).

Убедиться, что заземляющая точка присоединена к земле.

Повернуть регулировочную рукоятку автотрансформатора АТ в крайнее против часовой стрелки положение.

Установить регулирующий элемент водопровода так, чтобы интервалы времени, через которые смачивают образец каплями испытательного раствора, были  $30 \pm 5$  с. После этого опустить сосуд с раствором электролита.

Поставить испытуемый образец на место, проверить расстояние между электродами (оно должно составлять 4 мм).

Закрыть дверку ограждения.

Активизировать используемый мультиметр P1 для измерения сопротивления.

С помощью двух выводов на панели управления (см. рисунок 3.3) измерить сопротивление  $R_2$ , значение которого, в случае необходимости, изменить вращением регулировочной рукоятки. Необходимо обратить внимание на то, что значение сопротивления  $R_2$  зависит от испытательного напряжения. В соответствии с ГОСТ 27473-87, ток между короткозамкнутыми электродами во вторичной цепи  $(1 \pm 0,1)$  А, если испытательное напряжение 500 В, то  $R_2 = 500$  Ом и т.д.

Активизировать используемый мультиметр P1 для измерения напряжения.

Включить автоматический воздушный выключатель QS. При этом, сигнальная лампа  $L$  должна загореться.

Включить установку, нажав кнопку «ПУСК».

Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора АТ по часовой стрелке, поднять напряжение, прикладываемое к обмотке повышающего трансформатора Т, до необходимого значения.

Повесить сосуд на место.

***После эксперимента необходимо выполнить следующие действия:***

Опустить сосуд.

Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора АТ против часовой стрелки уменьшить до нуля напряжение, прикладываемое к электродам.

Отключить установку, нажав кнопку «СТОП». (при замыкании между электродами и срабатывании защитного реле нет необходимости выполнять этот шаг).

Отключить автоматический воздушный выключатель QS.

### 3.2.1 Установка для определения электрической прочности твердых изоляционных материалов

Согласно по ГОСТ 6433.3-71 для определения электрической прочности твердых диэлектриков на понадобится. Установка выдающий высокое напряжение в диапазоне от 0 до 70 кВ с переменной частотой 50Гц. Такая установка мы не стали собирать, так как на лаборатории кафедры электроэнергетических систем была готовая установка.

#### *Общий вид установки*

Для определения электрической прочности твердых диэлектриков при переменном напряжении используют установку, принципиальная схема которая приведена на рисунке 3.4.

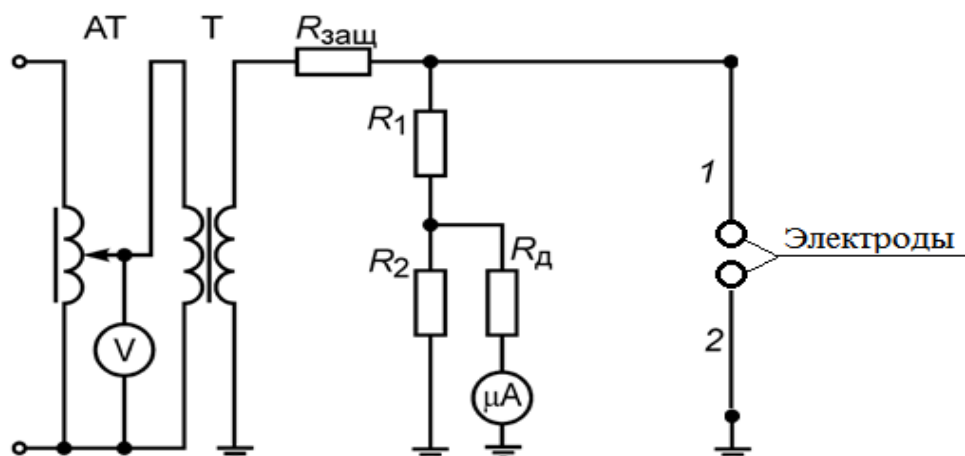


Рисунок 3.4 – Схема экспериментальной установки; АТ – автотрансформатор для регулирования напряжением; Т – высоковольтный трансформатор служит для повышение, подаваемого напряжения;  $R_{заш}$  – защитное сопротивление;  $R_1$ ,  $R_2$  – высоковольтный омический делитель;  $R_d$  – добавочное сопротивление;  $V$  – вольтметр;  $\mu A$  – микроамперметр; 1 – 2 – электроды с шаровыми наконечниками

Источник питания установки, испытательный трансформатор и регулирующее устройство должны обеспечивать на испытываемом образце синусоидальную форму кривой напряжения частоты 50 Гц с тем, чтобы

коэффициент амплитуды испытательного напряжения (отношение максимального значения к эффективному) был в пределах  $(2\pm 5)\%$  или 1,34-1,48.

Мощность испытательной установки должна быть такой, при которой действующее значение установившегося тока короткого замыкания на частоте высокого напряжения было бы не менее 40 мА в диапазоне напряжений, на которое рассчитано оборудование.

Общий вид испытательной установки приведен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Вид экспериментальной установки для экспериментов по определению электрической прочности образцов

### ***Примечание***

Допускается проводить испытание на установке, имеющей меньшее значение тока короткого замыкания в том случае, если установлено, что результаты испытаний на этой установке равноценны результатам, полученным на установке, указанной в настоящем стандарте.

В момент пробоя образца должно срабатывать реле максимального тока, отключающее первичную цепь трансформатора.

Параметры реле максимального тока должны быть подобраны в соответствии с мощностью испытательного оборудования и изоляционных свойств испытываемого материала, чтобы трансформатор не отключался до момента пробы.

Регулирующее устройство установки должно обеспечивать плавную регулировку напряжения. В случае невозможности получения таковой скачки изменения напряжения при регулировке не должны превышать 0,5% номинального напряжения трансформатора.

Измерение напряжения допускается производить как на стороне высокого напряжения (непосредственно на образце), так и на стороне низкого напряжения. Предпочтительно измерение напряжения на стороне высокого напряжения. На стороне высокого напряжения измерение производится при помощи киловольтметра, вольтметра с трансформатором напряжения или при помощи измерительного прибора, подключенного к делителю напряжения, а на стороне низкого напряжения - при помощи вольтметра.

Во всех случаях, кроме измерения напряжения на образце амплитудным или вольтметром, шкала измерительного прибора должна быть проградуирована при помощи измерительного шарового разрядника или киловольтметра. Если коэффициент трансформации испытательного трансформатора существенно изменяется при присоединении испытываемого образца, то градуировка измерительного прибора должна производиться при присоединенном образце. Погрешность измерения напряжения не должна превышать 4% [12].

#### Руководство по проведению испытаний

Определение электрической прочности производят при плавном или ступенчатом подъеме напряжения.

Скорость подъема напряжения должна указываться в стандартах или технических условиях на материал в соответствии следующими требованиями: При плавном подъеме напряжение должно повышаться с нуля равномерно таким образом, чтобы пробой происходил в диапазоне от 10 до 20 с после

начала подъема напряжения. Это испытание требует некоторых знаний о материале или проведения одного-двух предварительных испытаний. Необходимо, чтобы среднее арифметическое значение времени находилось в указанном диапазоне, хотя некоторые значения времени пробоя будут находиться и вне приведенного диапазона.

При ступенчатом подъеме напряжения определение электрической прочности производят двумя вариантами.

**Вариант А.** Напряжение должно повышаться ступенями с выдержкой на каждой ступени 20 с. Испытательное напряжение первой ступени выбирают по табл.4, причем по величине оно должно быть близким к 40% вероятного пробивного напряжения, полученного при плавном подъеме. Если предполагаемая величина пробивного напряжения неизвестна, то ее определяют по методу. Если образец выдерживает в течение 20 с испытательное напряжение, то переходят на следующее, более высокое напряжение, согласно табл.4. Продолжительность перехода от одной ступени к другой должна быть в пределах 1-2 с. Время повышения напряжения прибавляется ко времени испытания при более высоком напряжении. Если пробой произойдет в момент повышения напряжения, то пробивным должно считаться напряжение, соответствующее предыдущей ступени. Если пробой наступает в течение более короткого времени, чем 2 мин, желательно понизить величину исходного напряжения.

**Вариант Б.** Напряжение должно повышаться ступенями с выдержкой на каждой ступени 1 мин. Испытательное напряжение на первой ступени должно составлять 50% пробивного напряжения, полученного при плавном подъеме напряжения.

Напряжение на первой ступени подают на образец плавным подъемом. Испытательное напряжение на каждой следующей ступени должно повышаться на 10 % от испытательного на первой ступени.

Продолжительность перехода от данной ступени к другой не должна превышать 10 с.

Если пробой произойдет в момент повышения напряжения, то пробивным должно считаться напряжение, соответствующее предыдущей ступени.

За величину пробивного напряжения при испытании на переменном напряжении принимают его эффективное значение.

Способ подъема напряжения (плавный или ступенчатый) должен быть указан в стандартах или технических условиях на материал.

Число образцов должно быть указано в стандартах или технических условиях на материал. Число пробоев должно, быть не менее 5.

В случае испытания узких полос и ленточных материалов электродами диаметром 6 мм, количество пробоев должно быть не менее 10. Если отдельные результаты отличаются от средней величины более чем на 15%, то число пробоев увеличивается вдвое.

Для устранения поверхностных разрядов, возникающих при испытании образцов на воздухе, измерение электрической прочности допускается производить в трансформаторном масле (до температуры плюс 90 °С) или другой электроизоляционной жидкости, например, в кремнийорганической жидкости типов ПМС-40, ПМС-60 (при температуре свыше 90 °С). Тип жидкости и требования к ней должны быть указаны в стандартах или технических условиях на материал. Жидкости не должны оказывать влияния на испытываемый материал. Для обеспечения постоянства температуры вокруг испытываемого образца рекомендуется циркуляция жидкости. Температура должна быть измерена в непосредственной близости от места расположения образцов. Эскиз конструкции испытательной камеры для испытания образцов в жидкости приведен на рисунке 3.6.





где  $\Delta_i = E_{np} - \frac{U_i}{t_i}$ ;  $n$  – количество измерений;  $E_{np}$  – среднее арифметическое значение электрической прочности;  $t_i$  – средняя арифметическая толщина.

***Согласно ГОСТ 6433.3-71 протокол испытаний должен содержать следующие данные:***

описание материала (наименование, сорт, цвет, завод-изготовитель и т.д.);

форма, размеры, количество и обработка образцов;

тип, размеры электродов;

условия подготовки образцов (предварительная сушка, время выдержки в атмосфере с заданной относительной влажностью и т.д.);

условия испытания (температура, относительная влажность, продолжительность испытания и т.д.);

пробивное напряжение и средняя толщина каждого образца; среднее значение электрической прочности в кВ/мм, среднее стандартное отклонение и число образцов; способ подъема напряжения;

визуальные наблюдения при пробое и место пробоя (под электродом или около электрода).

### **3.3.1 Установка для определения поверхностного сопротивления**

Измерение проводилось согласно по ГОСТ 50499-93 "Материалы электроизоляционные твердые". Для определения поверхностного сопротивления мы напечатали на 3D принтере образцы 30x30x3 мм. На поверхность образцов приклеили два параллельных электродов из меди. Для опыта, нам понадобится ТЕРАОММЕТР который приведен на рисунке 3.7 и источник переменного напряжения. В начале опыта нам надо включить в сеть Тераомметр что бы он прогрелся в течение 5-10 мин и начинаем опыт. Последовательность опыта выглядит следующим образом 1) выводы электродов которые приклеены к поверхности образцов соединяем к выводам Тераомметра и набираем подходящие сопротивление [20].



Рисунок 3.7 – Тераомметр марки Е6-13 используемый, в опыте

### *Расчет результатов*

Удельное поверхностное сопротивление  $\sigma$ , Ом, рассчитывают по формуле

$$\sigma = R_x \frac{p}{g},$$

где  $R_x$  – поверхностное сопротивление, измеренное;  $p$  – эффективный периметр защищенного электрода для конкретно используемого размещения электродов, м (см);  $g$  – ширина зазора между электродами, м (см).

Из-за изменения сопротивления данного образца в зависимости от условий испытаний и неоднородности материала в разных образцах результаты определения обычно имеют воспроизводимость не лучше, чем  $\pm 10\%$  и часто имеют более высокое отклонение (при одинаковых условиях можно получить отклонение значений от 10 до 1).

Для получения сравнимых результатов на одинаковых образцах следует проводить испытание при примерно равных градиентах напряжения.

## ***Протокол испытаний***

Протокол испытаний должен содержать:

описание и идентификацию материала (наименование, классификация, цвет, изготовитель и т.д.);

форму и размеры образцов;

тип, материал и размеры электродов и защиты;

кондиционирование образцов (очистка, предварительная сушка, время кондиционирования, влажность и температура и т.д.);

условия испытания (температура образца, относительная влажность);

метод измерения;

прикладываемое напряжение;

удельное объемное сопротивление (если необходимо);

удельное поверхностное сопротивление (если необходимо): приводятся отдельные значения после 1 мин выдержки под напряжением, а центральное или среднее значение в качестве удельного поверхностного сопротивления [23].

## ***Примечания***

1. Если требуется конкретное время под напряжением, его следует указать, привести отдельные результаты и отметить центральное или среднее значение, как удельное объемное сопротивление.

2. Если измерения проводились при различных значениях времени под напряжением, в отчете необходимо указать: в тех случаях, если образцы достигают устойчивых значений за одинаковое время, нужно привести отдельные результаты и отметить центральное значение. В противоположном случае следует указать количество образцов и привести их результаты отдельно. Если результаты зависят от времени под напряжением, необходимо привести эту зависимость, например, в виде графика или центрального значения поверхностного сопротивления через 1, 10 и 100 мин [23].

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет НТП;
- произвести оценку ресурсной и экономической эффективности проекта.

### **5.1 Инициализация проекта и его потенциальные потребители**

Научно-технический проект посвящен испытанию новых полимерных материалов для определения трекингостойкости (электрической прочности). Для реализации исследовательской работы на базе кафедры НИ ТПУ Электроэнергетических систем разработана установка для испытания новых полимерных материалов на трекингостойкость.

Полимеры становятся одним из наиболее популярных конструкционных материалов. Уже сейчас трудно найти отрасль промышленности, где бы не использовалась, полимеры или его сплавы, от микроэлектроники до космонавтики.

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования полимерного изолятора, являются вся энергетическая отрасль, которые вырабатывают, эксплуатируют и потребители электроэнергии.

### 5.1.1 SWOT анализ проекта

Для проведения анализа внутренних и внешних факторов, влияющих на научно-техническое, проводимое в рамках данной магистерской работы, воспользуемся таким инструментом, как матрица SWOT, представляющая разделение всех факторов на сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы. Сильные и слабые стороны – это внутренние черты научного - технического исследования, следовательно, ему подконтрольные. Возможности и угрозы связаны с характеристиками рыночной/внешней среды и должны быть учтены при обосновании развития данного исследования.

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

<p style="text-align: center;"><b>Strengths (сильные стороны)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Возможность сохранения синхронной динамической устойчивости за счет применения дополнительных средств материала</li> <li>• Повышение точности исследования испытательной установки</li> <li>• Повышение возможности анализа возникающих при трекингах</li> <li>• Соответствие стандартам ГОСТ 27473.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Weaknesses (слабые стороны)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Испытания изоляционных материалов проводились на 500В , а следовало по исходным данным испытать на класс напряжения 600В.</li> <li>• Неопределенность относительно сроков внедрения результатов исследования</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Opportunities (возможности)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Поощрение со стороны управляющих ЕЭС организаций (ООО «НЭК»)</li> <li>• Возможность внедрения результатов проведенного исследования</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Threats (угрозы)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Появление более полноценно реализованного испытательного оборудования</li> <li>• Появление новых видов изоляционного материала, следовательно, снижение актуальности данного исследования</li> </ul>

По итогам рассмотрения матрицы можно сказать, что данное научное – техническое исследование, имеет значительное количество сильных сторон. Однако существует принципиальная слабая сторона, связанная с особенностями проведения испытания

Внешняя среда предлагает ряд возможностей, повышающих привлекательность рассматриваемого решения. Также присутствуют угрозы, среди которых особого внимания требует появление в самое ближайшее время

наиболее точного измерения испытания материалов изоляционных, что связано с последними тенденциями уточнения пределов динамической, устойчивости электрических станций единой энергосистемы России.

Тем не менее, научно-технический проект имеет коммерческий потенциал и является целесообразным.

Далее проведем планирование работ по проекту.

## **5.2 Организация и планирование НТП**

Разработка НТП производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Для реализации проекта необходимо реализовать спектр задач, связанных с научными, техническими и экономическими проблемами.

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 которую входят: руководитель и студент.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.2

### **5.2.1 Определение трудоемкости работ**

Важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования. Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер

В работе задействованы: научный руководитель – Лавринович В.А., студент – Сатындыев А.С.

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}$$

где  $t_{\min}$ -наименьшая продолжительность работы (при благоприятных условиях);  $t_{\min} = 45$  дней

где  $t_{\max}$ -наибольшая продолжительность работы (при неблагоприятных условиях);  $t_{\max} = 150$  дней



Таблица 4.2 - Временные показатели проведения научного исследования


Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни							
	Науч. рук-ль	Студент	Науч. рук-ль	Студент	Науч. рук-ль	Студент	Науч. рук-ль	Студент	Науч. рук-ль	Студент	Науч. рук-ль	Студент
<b>I этап. Постановка целей и задач, получение задания</b>												
1) Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	1	-	3	-	2	-	1	-	1,2	-	3	-
2) Календарное планирование работ по проекту	-	1	-	3	-	2	-	1	-	1,2	-	3
3) Подбор научной литературы/документации по проекту	-	12	-	13	-	12	-	1	-	12	-	24
<b>II этап Подготовка к исследованию</b>												
4(Изготовление экспериментального образца: полимеров на 3D принтере)	-	1	-	2	-	1	-	1	-	1	-	2
5) Сбор испытательной установки	3	7	4	10	3,4	8,2	1	1	4,08	9,84	5,712	13,76
6) Проведение лаб испытательной части исследования	-	5	-	12	-	8	-	1	-	4,7	-	14


7) Обработка ответных данных	-	23	-	42	-	33	-	1	-	27	-	35
8) Анализ результатов исследования	3	7	4	9	3.4	7,8	1	1	4.08	9,36	5.712	13,10
9) Доработка и доводка опытного образца по результатам лабораторных испытаний	-	1	-	8	-	4	-	1	-	0,79	-	4
10) Формирование отчета по НТП.	1	14	2	18	1.4	15,6	1	1	1.68	18,7	2.35	26,2
11) Расчет стоимости реализации проекта	-	9	-	10	-	9	-	1	-	4	-	8
12) Сдача проекта	-	7	-	8	-	5	-	1	-	2	-	4
Итого:					10.4	113.6			11.48	72	17.635	114.21

Таблица 4.3 – Календарный план проведения НТП

Виды работы	Исполнители	tk	февраль	март	апрель	май/июнь
<b>I этап. Постановка целей и задач, получение задания</b>						
1) Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	Лавринович В.А.	3	█			
2) Календарное планирование работ по проекту	Сатындыев А	3	█			
3) Подбор научно-технической литературы/документации по проекту	Сатындыев А	24	█			
<b>II этап Подготовка к исследованию</b>						
4) (Изготовление экспериментального образца: полимеров на 3D принтере) Сбор испытательной установки	Сатындыев А	2		█		
5) Сбор испытательной установки	Лавринович В.А. Сатындыев А	19		█ █		
6) Проведение лаб испытательной части исследования	Сатындыев А	14			█	

7)Обработка ответных данных	Сатындыев А	35								
8)Анализ результатов исследования	Лавринович В.А. Сатындыев А	19								
9) Доработка и доводка опытного образца по результатам лабораторных испытаний	Сатындыев А	4								
10) Формирование отчета по НТП.	Лавринович В.А. Сатындыев А	28,5								
11) Расчет стоимости реализации проекта	Сатындыев А	8								
12)Сдача проекта	Сатындыев А	4								

 - Лавринович В.А. (научный руководитель)

 - Сатындыев А.С. (студент)

### 5.3 Формирование бюджета на реализацию проекта

#### *Материальные затраты*

В данном разделе отражается стоимость оборудования и материала, на котором ставится эксперимент. Перечень необходимого оборудования, комплектующих, материалов (для проведения НТП), а также их стоимость приведены в таблице 4.4.

Таблица 5.4 – Смета затрат на оборудование, комплектующие, материалы

п/п	Наименование	Кол-во, шт	Сумма, руб
	Емкостной электрический накопитель энергии (конденсаторы)	750	600000
	Источник напряжения Spellman 1200	1	37300
	Источник напряжения Spellman 600	1	28400
	Компьютер ПК	1	13500
	Тиристоры	4	102800
	Осциллографы	5	351373
	Микросхема	1	2735
	Ферриты	6	2000
	Измерительные приборы	2	300
0	Провод щеточный	100м	2100
1	Вакуумный насос	1	80000
2	Комплекты крепежа (болты, гайки, шайбы)		3000
3	Вакуумная откачная станция	1	188750
4	Защитная сетка для турбомолекулярного насоса	1	4800
5	Спиральный форвакуумный насос	1	195600
6	Магнитоэридный насос	1	155800
7	Вакуумная камера	1	850000
	Листы под установкой	1	5500

8			
9	Источник бесперебойного питания	1	6400
0	Прижимное устройство	1	45850
1	Материалы для испытания	6	13100
2	Провод установочный с медными жилами	100м	2500
3	Печатная плата	1	1100
4	Клеммы	600	2300
5	Защитный и испытуемый выключатель (вакуумный выключатель)	1	300000
6	Механический выключатель (разъединитель)	2	20000
7	Высокоскоростная камера	1	8000000
8	Медные шины	50м	4000
Итого			10 935000

### 5.3.1 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.

Рассчитаем норму амортизацию по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{2} = 0.5,$$

где  $H_A$  -Норма амортизации;

$n$  – срок полезного использования в количествах лет;

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} = \frac{0.5 \cdot 10935000}{12} = 455625 \text{ руб.}$$

где  $I$  – итоговая сумма в тыс.руб.;

### 5.3.2 Расчет основной заработной платы

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

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

Месячный должностной оклад работника:

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

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

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

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

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

Заработная плата по тарифной ставке установлена согласно приказу ректора ТПУ о «Окладах ППС и НС» [36]

Дневная заработная плата:

$$Z_d = \frac{Z_m}{t},$$

где  $t$  – время работы сотрудника в месяц.

$$Z_{осн} = Z_d \cdot T_{раб}$$

Таблица 4.5– Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З, б. ру	пр	д	р	м, уб.	З дн, р уб.	Т р, р аб. дн.	З осн, р уб.	З доп, уб.
Научный руководитель	484,86	,3	,4	,3	0 742	520,44	0	5 613	473
Лаборант-(студент)	584,32	,3	,4	,3	2231	77,83	52	18 230	14187
Итого:								63843	9660

### 5.3.3 Отчисления на социальные цели

Отчисления на социальные цели включают в себя отчисления в следующие фонды: пенсионный; обязательного медицинского страхования; социального страхования; занятости населения.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

где – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 4.6. – Отчисления на социальные цели

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	45 613	5 473



Лаборант - (студент)	118 230	14187
Коэффициент отчислений	27,1 %	
Итого		49729

### 5.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают дополнительные к основным затратам расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием, и эксплуатацией оборудования, плюс ненормированные расходы. и т.д.

Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,16 \cdot 183503 = 29360$$

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

### 5.3.5 Общие затраты 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-технического проекта по каждому варианту исполнения приведен в таблице.

Таблица 4.7– Бюджет затрат на научное исследование

Наименование статьи	СуммаΣ
	Рублей
1. Амортизация специального оборудования	455 625

2. Заработная плата	183 503
3. Отчисления на социальные цели	49 729
4. Накладные расходы	29 360
5. Бюджет затрат НИ	718 217

Расчёт бюджета затрат научно-исследовательского проекта составляет 718 217 тыс. рублей

#### 5.4 Определение ресурсной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе сравнения с другими изоляционными материалами, на пример берем фарфор, оргстекло и фторопласт. Посчитаем оценку ресурсоэффективности научной разработки.

Интегральный финансовый показатель разработки равен

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.и}} = 1,02$$

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

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

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

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

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

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 4.8 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения  
проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 Фарфор	Исп.2 Оргстекло	Исп.3 Фторопласт
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

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,139 + 5 \cdot 0,184 + 5 \cdot 0,158 + 3 \cdot 0,186 + 5 \cdot 0,222 + 4 \cdot 0,111 = 4,75$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,139 + 5 \cdot 0,184 + 4 \cdot 0,158 + 2 \cdot 0,186 + 4 \cdot 0,222 + 4 \cdot 0,111 = 3,67$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,139 + 4 \cdot 0,184 + 3 \cdot 0,158 + 3 \cdot 0,186 + 3 \cdot 0,222 + 5 \cdot 0,111 = 3,54$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп}} = \frac{4,75}{1,02} = 4,362$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп}} = \frac{3,67}{1,02} = 3,59$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр}^{исп}} = \frac{3,54}{1,02} = 3,47$$

По полученным, результатом анализа можно сказать, что внедрение в эксплуатацию новых исследуемых полимерных материалов позволит значительно повысить эффективность вакуумного выключателя.

### **Вывод**

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1) Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал применения методики.

2) Определен полный перечень работ, проводимых для научного проекта. Определена трудоемкость проведения работ. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя и студента-исполнителя составила 77 чел-дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 120 календарных дней.

3) Суммарный бюджет затрат НИР составил – 718 217 рублей.

4) Определена целесообразность и эффективность научного исследования путем оценки научно-технического уровня проекта, а также оценки возможных рисков. В результате проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического уровня и приемлемый уровень рисков.

Следует отметить важность для проекта в целом, проведенных в данной главе работ, которые позволили объективно оценить эффективность проводимого научно-технического исследования.

В завершении хочется отметить, что данный проект, а именно замена фарфоровых изоляторов на полимерные является весьма актуальной.