

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

Инженерная школа энергетики

Направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение «Электроэнергетика и электротехника»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние модулированного напряжения на среднее время до пробоя изоляции кабельных изделий

УДК 621.315.211.015.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Морозов Игорь Анатольевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	К.Т.Н., ДОЦЕНТ		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Попова Светлана Николаевна	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Юрий Викторович	К.Т.Н., ДОЦЕНТ		

По разделу «Экспериментальная часть»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Чарков Дмитрий Игоревич	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	К.Т.Н., ДОЦЕНТ		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение «Электроэнергетика и электротехника»

Период выполнения - весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.18	Обзор литературы	15
11.03.18	Методика проведения исследований	10
30.04.18	Экспериментальная часть	20
03.05.18	Обсуждение результатов	10
06.05.18	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
13.05.18	Социальная ответственность	15
14.05.18	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

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

Инженерная школа энергетики
Направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение «Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ОЭЭ
_____ Дементьев Ю.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6М	Морозову Игорю Анатольевичу

Тема работы:

Влияние модулированного напряжения на среднее время до пробоя изоляции кабельных изделий	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.01.2018, 45/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исходные данные к работе ЧРП на базе ШИМ; система изоляции.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Состав и структура ЧРП на базе ШИМ; 2) Уровень и влияние эксплуатационных нагрузок на обмотку и питающий кабель; 3) Существующие методы и технические средства для испытания КИ, применяемых в ЧРП ; 4) Обсуждение результатов; 5) Заключение.
Перечень графического материала	Презентация в Power Point.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Бородин Юрий Викторович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	11.01.2018
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Морозов Игорь Анатольевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6М	Морозову Игорю Анатольевичу

Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определить стоимость материально-технических ресурсов научно-исследовательской работы. Исходные данные: Обмоточный провод марки ПЭТД2-К-180.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ТУ 16-705-264-82 – Провода медные круглые с двухслойной изоляцией. МЭК 60317-22 – Провода обмоточные.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на страховые взносы – 30 % от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведены оценка конкурентоспособности и SWOT-анализ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Разработка устава не требуется.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Формирование плана и графика разработки: -Планирование и бюджет проекта -разработка диаграммы денежных ресурсов -Расчет сметы затрат -риски проекта
4. Определение ресурсной эффективности, финансовой, экономической эффективности	Эффективность замены обмоточного провода.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сетевой график;
2. Диаграмма денежных ресурсов;
3. Диаграмма трудовых ресурсов.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Попова Светлана Николаевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Морозов Игорь Анатольевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО		
5АМ6М	Морозову Игорю Анатольевичу		
Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1.4. Описание рабочего места</p>	<p>Комбинированно учебно-лабораторный стенд для проведения высоковольтных и высокочастотных испытаний изоляции обмоточных проводов и систем изоляции обмотки на стойкость к действию коронных разрядов.</p> <p>1) Проявление вредных факторов производственной среды: выделение озона, шум, влияние микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>2) Проявление опасных факторов производственной среды: поражение электрическим током, термический ожог.</p>
-------------------------------------	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<p>Вредные факторы: -выделение озона; - шум; - микроклимат; - освещение - электромагнитные излучения.</p>
<p>1 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p>	<p>Электробезопасность: поражение электрическим током. Термические опасности: термический ожог. Пожаровзрывобезопасность: неисправность учебно-лабораторного стенда.</p>
<p>2 Экологическая безопасность:</p>	<p>-анализ воздействия объекта ВКР и области его использования ОС; -разработка решений по обеспечению экологической безопасности</p>
<p>3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Выбор и описание возможных ЧС; Типичная ЧС – пожар -разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; -разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>
<p>4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<p>- специальные правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследования</p>

Перечень графического материала:

При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию	План размещения светильников, схема подвеса светильников над рабочей поверхностью. План эвакуации.
---	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Ю.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Морозов И.А.		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 109с., 31 рис., 20 табл., 45 источников, 1прил.

Ключевые слова: преобразователь частоты, асинхронный двигатель, широтно-импульсная модуляция, обмотка, коронные разряды, пропиточный состав, изоляция, эмалированные провода, короностойкость.

Объектами исследования являются: эмалированный обмоточный провод марки (ПЭТД-180, ПЭТД2-К-180), пропиточные составы (КП-50).

Цель работы: оценка влияния модулированного напряжения на среднее время до пробоя изоляции кабельных изделий, оценить влияние пропиточного состава на залечивание сквозных дефектов, проведение испытаний по отработанной методике. Провести исследования по типу подключения дефектного образца на фазу и на ноль. Провести испытания с разными температурами старения изоляции. В качестве критерия стойкости к коронным разрядам предложено среднее время до выхода изоляции из строя. Провести испытания на лабораторном стенде представить оценку стойкости межвитковой изоляции обмоток к эксплуатационным нагрузкам в частотно регулируемом приводе.

Экономическая эффективность важности данной работы: в данное время оценить эффект, нанесенный коронными разрядами сложно так как по большей мере он проявляется у потребителя данного типа проводов.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

Определения:

- Коронный разряд – это отличительная форма самостоятельного газового разряда, проявляющаяся у проводников с большой кривизной поверхности в том числе и в тонких проводниках из-за неоднородности полей.
- Короностойкость – характерное свойство материала выдерживать воздействие коронного разряда без ухудшения свойств.
- Поверхностный разряд – электрический разряд в газовом промежутке по поверхности твердого диэлектрика.
- Широтно-импульсная модуляция – управление мощностью, подаваемой на нагрузку путем изменения скважности импульсов, при постоянной частоте.
- Электрический пробой – проявления резкого возрастания силы тока в диэлектрике или полупроводнике за счет приложенного максимально допустимого значения напряжения.
- Электродвигатель – это тип устройства, суть которого заключается в преобразовании электрической энергии в механическую.

Сокращения:

- АД – асинхронный двигатель;
- ВЧ – высокочастотный;
- МВИ – межвитковая изоляция;
- ОП – обмоточный провод;
- ПС – пропитывающий состав;
- СЧР – система частотного регулирования;
- ЧРП – частотно-регулируемый привод;
- ШИМ – широтно-импульсная модуляция;
- ЭИМ – электроизоляционный материал;

Оглавление

Введение.....	11
1 Литературный обзор.....	13
1.1 Состав и структура частотно регулируемого привода на базе широтной импульсной модуляции.	13
1.2 Обзор существующих методов определения стойкости кабельных изделий к электротепловым нагрузкам.....	23
1.3 Постановка задач на исследование	27
2 Методическая часть.....	29
2.1 Методика подготовки скруток	29
2.2 Методика подготовки образцов с искусственно нанесенными дефектами	31
2.3 Методика определения короностойкости эмалированных проводов	32
3 Экспериментальная часть	35
3.1 Объекты исследования.....	35
3.2 Пропитка скруток с искусственно нанесенными дефектами.....	38
3.3 Определение среднего время до пробоя образцов эмалированного провода при действии модулированного напряжения.....	41
3.4 Обсуждение результатов.....	44
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	48
4.1 Маркетинг проекта	48
4.2 Оценка конкурентоспособности	52
4.3 Выводы по главе	65
5 Социальная ответственность	67
5.1. Анализ вредных производственных факторов	67

5.2. Анализ опасных производственных факторов	74
5.3 Вывод по главе	86
Заключение	88
Список используемых источников:.....	89
Приложение А	93

Введение

В настоящее время асинхронные двигатели имеют достаточно широкое применение. По разным источникам на долю асинхронных двигателей приходится от 40 % до 70 % всей электроэнергии, преобразуемой в механическую энергию вращательного или поступательного движения. [1]

С интенсивным ростом силовой полупроводниковой и микропроцессорной техники становится более возможным создание частотного регулирования электроприводом (ЧРП). ЧРП позволяет более точно управлять моментом и скоростью электропривода по заданным координатам, которые обеспечивают характер нагрузки. К преимуществам использования ЧРП относятся следующие факторы: высокая точность регулирования, экономия электроэнергии в случае переменной нагрузки (двигателя с неполной нагрузкой), увеличенный ресурс срока службы оборудования, поддержание постоянной скорости вращения с изменением нагрузки, обеспечивает более плавный пуск двигателя, заметно уменьшая износ деталей и т.д. За счет выше перечисленных преимуществ появляется возможность использования частотно-регулируемого привода в разных сферах деятельности, а если быть точнее: в конвейерных лентах в нефтедобывающих отраслях промышленности (центробежные насосы), в системах воздушных охлаждений и водоснабжения. [2]

Основными достоинствами использования системы ЧРП привело к значительному росту частоты коммутационных операций (до 20 кГц), уменьшить потери электрической энергии и увеличить производительность ЧРП [24]. Но из-за увеличения скорости коммутаций сократилось время возрастания импульсов напряжения, которое в свою очередь оказало негативно влияние на протекании переходных процессов в системе «ЧП–питающий кабель – двигатель». Не соответствие волновых сопротивлений между инвертором, кабелем и двигателем возбудило волновые процессы в кабеле и такое явление как отражения сигнала, что в свою очередь привело к

повышенным напряжениям на клеммах электродвигателя []. Все эти явления нагрузки обострили условия эксплуатации изоляционной системы ЧРП и, самое главное, межвитковой изоляции, так как она является наиболее слабым звеном в данной системе. В образовавшихся порах и воздушных зазорах стали проявляться коронные разряды, которые привели к ускоренному старению изоляции и дальнейшему выходу из строя [8,9].

В наше время эта проблема является все более актуальной и требует особого внимания для обеспечения надежности межвитковой изоляции к эксплуатационным нагрузкам.

1 Литературный обзор

1.1 Состав и структура частотно регулируемого привода на базе широтной импульсной модуляции.

Для регулирования скорости вращения двигателя довольно широко используются 3 основных типа устройств: механические вариаторы, гидравлические и электромагнитные муфты скольжения, а также электронные регуляторы. Основными недостатками первых 2-х типов устройств является наличие механически изнашиваемых элементов, которые усложняют использование и обслуживание приводов, наиболее часто в запыленных и взрывоопасных средах, а также необходимостью установки регулирующего устройства в один агрегат вместе с двигателем и рабочим механизмом. Электронные регуляторы не зависят от этих недостатков и поэтому имеют все более широкое применение. [24]

Электрический привод включает в себя двигатель, преобразователь электрической энергии преобразователь частоты (ПЧ) и систему управления. В промышленности и в быту применяются в основном двигатели переменного и постоянного тока. Изначально сложилось, что для регулирования скорости вращения более широко использовались двигатели постоянного тока. ПЧ в данном случае регулировал только напряжение, был простой и дешевый. Так как двигатели постоянного тока имеют сложную конструкцию, не надежный в эксплуатации щеточный узел и сравнительно дорогие. Асинхронные двигатели более распространены, надежны, имеют относительно низкую стоимость, хорошие эксплуатационные показатели, но регуляторы скорости их вращения из-за сложной конструкции систем электронного регулирования частоты питающего напряжения стоили до начала 80-х годов дорого и не обладали показателями, необходимыми для широкого внедрения в производство. Но из-за бурного развития электроники и появления не дорогих ПЧ стало доступным регулирование скорости вращения асинхронных двигателей (АД) в широких масштабах. Быстрый

рост рынка ПЧ для асинхронных двигателей в последнюю очередь стал возможен в связи с возникновением новейшей элементной базы силовых модулей на основе IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor — биполярный транзистор с изолированным затвором), рассчитанных на токи вплоть до нескольких килоампер, напряжение до нескольких киловольт и обладающих частоту коммутации 30 кГц и больше. С целью наилучшего представления принципов, лежащих в основе электрических систем регулирования скорости вращения, напомним устройство асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором — более массового, повсеместно применяемого вида электродвигателя. Довольно отметить, то что суммарный объем электричества, употребляемой с целью приведения в движение абсолютно всех приводов с асинхронными двигателями, составляет наиболее 50% всей употребляемой электроэнергии. Такого рода двигатель обладает неподвижный статор с обмотками, образующими полюса, и подвижный короткозамкнутый ротор. При приложении к статорным обмоткам электродвигателя трехфазного напряжения статорными токами, сдвинутыми относительно друг друга на 120 градусов, создается вращающееся магнитное поле статора. Данное поле индуцирует в роторе токи, порождающие свое поле ротора, что вращается одновременно с полем статора и образует единый вращающий поток двигателя. Скорость ротора асинхронного электродвигателя возможно регулировать изменением частоты питающего напряжения, числа пар полюсов статора, амплитуды питающего напряжения. С целью изменения скорости вращения АД более обширно используются устройства, разрешающие менять частоту подводимого напряжения — полупроводниковые ПЧ. [12]. В простом случае частотного регулирования управление скоростью вращения осуществляется посредством изменения частоты и амплитуды напряжения трехфазного источника питания. Как известно, урегулирование скорости АД изменением частоты подводимого к статору напряжения допустимо, как в сторону уменьшения скорости, так и в сторону повышения скорости больше номинальной. При регулировании

частоты ниже от номинальной возможно подобрать такого рода закон частотного управления (соотношение между частотой и амплитудой питающего напряжения, подводимого к статору АД), то что магнитный поток двигателя станет поддерживаться постоянным. В данном случае наибольший момент двигателя сохраняется постоянным, и таким способом обеспечивается стабильность перегрузочной способности во абсолютно всем диапазоне регулировки при постоянном моменте нагрузки. При регулировании частоты вверх от номинальной, то что возможно у преобразователей частоты с промежуточным контуром постоянного тока, имеет место режим уменьшения магнитного потока АД, так как амплитуда напряжения остается постоянной на уровне её номинального значения. [1]

Существует 2 основных вида преобразователей частоты: с непосредственной связью и с промежуточным контуром постоянного тока. В первом случае выходное напряжение синусоидальной формы создается из участков синусоид преобразуемого входного усилия. При данном максимальное значение выходной частоты принципиально никак не может являться равным частоте питающей сети. Частота на выходе преобразователя данного типа как правило находится в диапазоне от 0 до 2533 Гц. Однако максимальное распространение приобрели преобразователи частоты с промежуточным контуром постоянного тока, произведенные на базе инверторов напряжения. (рисунок 1.1). [22]

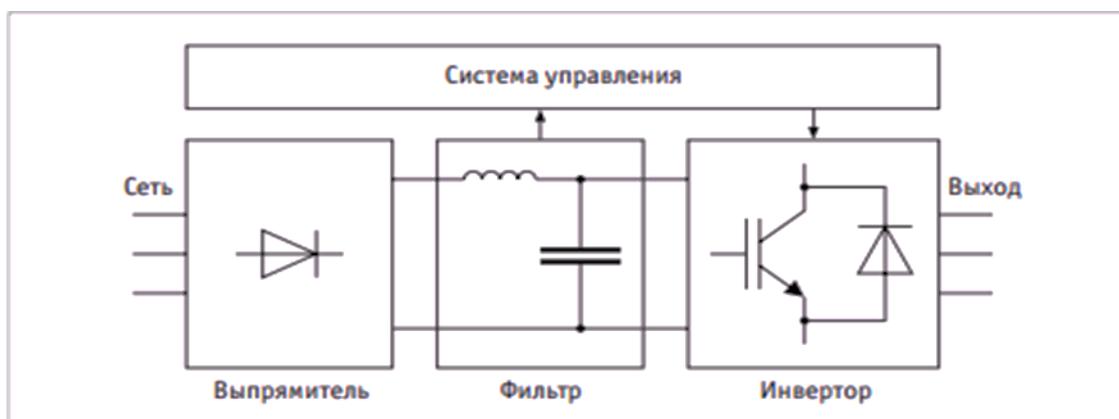


Рисунок 1.1 – Структурная схема ПЧ с промежуточным контуром постоянного тока

Переменное напряжение сети преобразуется с помощью диодного выпрямителя, а далее сглаживается в промежуточной цепи индуктивно ёмкостным фильтром. И, в конечном итоге, инвертор, выходной каскад которого как правило выполняется на базе IGBT модулей, осуществляет обратное преобразование из постоянного тока в переменный, снабжая формирование выходного сигнала с необходимыми значениями напряжения и частоты. Зачастую в инверторах используется метод высокочастотной широтно-импульсной модуляции (ШИМ). ШИМ (широтно-импульсная модуляция) – это способ управления подачей мощности к нагрузке. ШИМ (широтно-импульсная модуляция) – это способ управления подачей мощности к нагрузке. Управление заключается в изменении длительности импульса при постоянной частоте следования импульсов. Широтно-импульсная модуляция бывает аналоговой, цифровой, двоичной и троичной.

Использование широтно-импульсной модуляции дает возможность увеличить коэффициент полезного действия электрических преобразователей, в особенности это касается импульсных преобразователей, составляющих на сегодняшний день основу вторичных источников питания разных электронных аппаратов. Обратноходовые и прямо ходовые одноконтурные, двухконтурные и полу мостовые, а кроме того мостовые импульсные преобразователи управляются на сегодняшний день с участием ШИМ, касается это и резонансных преобразователей. В качестве коммутационных элементов, в нынешних высокочастотных преобразователях, используются биполярные и полевые транзисторы, работающие в ключевом режиме.

И таким образом, как в переходных состояниях, длящихся лишь десятки наносекунд, выделяемая на ключе мощность незначительна, по сравнению с коммутируемой мощностью, в таком случае средняя мощность, выделяемая в виде тепла на ключе, в результате оказывается незначительной.

При этом в закрытом состоянии сопротивление транзистора как ключа весьма невелико, и падение на нем напряжения близится к нулю.

В разомкнутом же состоянии проводимость транзистора близка к нулю, и ток через него практически не течет. Это позволяет создавать компактные преобразователи с высокой эффективностью, то есть с небольшими тепловыми потерями. А резонансные преобразователи с переключением в нуле тока ZCS (zero-current-switching) позволяют свести эти потери к минимуму.

В этом случае выходной сигнал преобразователя представляет собой последовательность импульсов напряжения постоянной амплитуды и изменяющейся длительности, которая на индуктивной нагрузке, каковой является обмотка статора, формирует токи синусоидальной формы (рисунок 1.2). Возможный диапазон регулирования частоты — от 0 до нескольких тысяч герц.

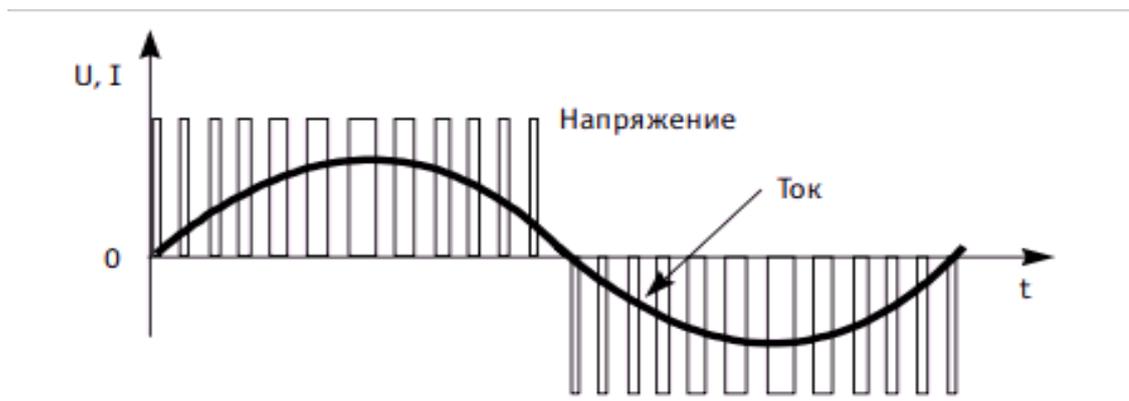


Рисунок 1.2 – Выходной сигнал преобразователя частоты

Но несмотря на все недостатки преобразователя, имеются и плюсы. Применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получать новые качества систем и объектов. Значительная экономия электроэнергии обеспечивается за счет регулирования какого-либо технологического параметра. Если это транспортер или конвейер, то можно регулировать скорость его движения. Если это насос или вентилятор — можно поддерживать давление или регулировать производительность. Если это станок, то можно плавно регулировать скорость подачи или главного

движения. Таким образом к преобразователь частоты обладает: значительной точностью регулирования, равным наибольшим пусковым моментом, возможностью удаленной диагностики привода по промышленной сети, высоким ресурсом оборудования, плавным запуском двигателя, то что существенно сокращает его износ, частотно регулируемый привод как правило включает в себя ПИД-регулятор и способен подключаться напрямую к датчику регулируемой величины, управляемое торможение и автоматический повторный запуск при пропадании сетевого напряжения, подхватывание вращающегося электродвигателя, регулирование скорости вращения при изменении нагрузки, дополнительная экономия электричества от оптимизации возбуждения электродвигателя, возможность рекуперации электроэнергии при торможении двигателя.

Уровень и влияние эксплуатационных нагрузок на обмотку и питающий кабель при работе с преобразователем частоты.

Несмотря на все свои плюсы использования частотно регулируемого электропривода так же имеются и ряд недостатков:

Гармонические преломления питающей электронной сети. Причинами возникновения высших гармоник являются имеющие в составе ЧРП нелинейные входные цепи (выпрямительный мост), которые потребляют импульсный ток.

Электромагнитные помехи. В выходе устройство ЧРП дает широтно-модулированные прямоугольные импульсы напряжения, получаемые с помощью сверхбыстрых полупроводниковых ключей (IGBT). Данные импульсы формируют обширный диапазон индукционных помех. Происходит излучение помех, а кроме того их продвижение согласно абсолютно всем контурам. Для того чтобы уменьшить уровень помех в согласовании с общепризнанными нормами IEEE и ГОСТ, нужна установка добавочных фильтров.

Скачки напряжения, образующиеся в следствии переотражения. Большие рабочие частоты и весьма активное переключение напряжения прикладывают вспомогательные требования на длину монтажного кабеля. Импульсы напряжения, генерируемые ЧРП, поступают на клеммы электродвигателя в виде отображенных волн. Отражение волн от концов кабеля способен послужить причиной к двойному увеличению выходящего напряжения электропривода. [25]

Аналогичные процессы весьма негативно влияют на электрическую изоляцию. Всё это приводит к внезапному уменьшению срока работы изоляции кабеля.

При работе привода появляются электрические нагрузки значительной интенсивности, которые функционируют на изоляцию в протяжении всего периода эксплуатации при рабочей температуре.

Электроизоляционные материалы проводных продуктов должны обладать нужной стойкостью к частичным разрядам, к дугостойкости, к коронным разрядам, а кроме того к воздействию электротеплового старения. [26]

При высокой напряженности электрического поля в единичных составляющих изоляции имеют все шансы происходить разряды (пробой), которые никак не приводят к абсолютному пробое электроизоляционной конструкции. Подобные разряды приобрели название частичных разрядов.

Частичный разряд – это неполный электрический пробой в диэлектрике, который возникает в основном в газовых включениях, однако имеют все шансы присутствовать внутри изоляции в водяных прослойках, посторонних в скоплениях, в следствии чего же образовывается пространство между проводником и экраном. Единица измерения частичного разряда – пико Кулон (пКл). Возникновение частичных разрядов в газовых включениях приводит к возрастанию потерь энергии в диэлектрике и повышению его tg.

Короностойкость диэлектрика представляет собою способность переносить влияние коронного разряда в отсутствии недопустимого

смещения в худшую сторону свойств. Корона может быть сформирована с течением периода из-за износа электродов и старения изоляции. Она ограничена относительно узкой областью, близкой к электроду. Под влиянием короны и химических соединений, возникающих под её влиянием, совершается эрозия изоляционного материала, который способен достигать такой степени, то что оставшаяся изоляция никак не выдерживает приложенного напряжения и пробоя.

Частичные и коронные разряды считаются одним из ключевых факторов, которые разрушают электрическую изоляцию при работе на переменном и импульсном напряжениях.

Традиционно электрическое старение учитывалось при обмотках высокого напряжения, таким образом, как постоянно функционирует высокое напряжение.

Применение новейших систем частотного управления электроприводами привело к изменению уровня электрических рабочих нагрузок в низковольтной изоляции. В свою очередь, это является фактором ускоренного электрического износа изоляции с дальнейшим пробоем. Помимо этого, был определен ряд проблем, связанных с разработкой, испытанием и использованием короннстойких систем изоляции, разрешение которых обеспечит нужный уровень надежности в период работы. В взаимосвязи с этим особенно немаловажно установить способность эмалевой изоляции провода, как главного элемента, который обеспечивает безопасность изоляции проводки, выдерживать высокие электрические перегрузки (рисунок 1.3).

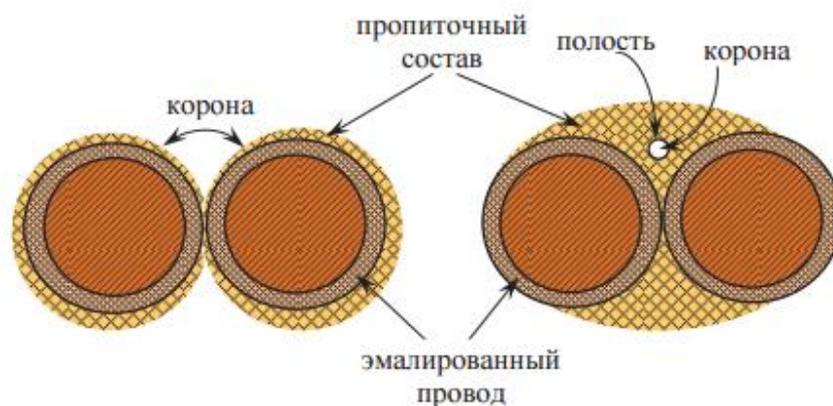


Рисунок.1.3 – Место возникновения коронных разрядов между витками низковольтной обмотки в частотно-регулируемом приводе

Область диэлектрика, в которой совершается ч.р, как правило называется включением; примерами подобных включений могут являться газовое включение, прослойка пропитывающей жидкости между диэлектрическими листами либо между листом и обкладкой. Под влиянием коронного разряда диэлектрик со временем разрушается, характер и уровень разрушения в зависимости от интенсивности ч.р, от свойств и вида изоляции. Разрушения связаны с разрывом молекулярных взаимосвязей и образованием радикалов; кроме того, вероятен обратный процесс: укрупнение молекул либо добавление радикалов. Данные явления связаны с высвобождением водорода либо других газов: метана, ацетилен, диоксида углерода, допустимо формирование углеродных соединений. При выделении конденсаторов диэлектрик более усиленно разрушается, то что проявляется в изменении физико-хим характеристик, сопровождаемых выделением газа, повышением tg .

Подавляющее большинство современных преобразователей частоты (ПЧ), выпускаемых как зарубежными, так и отечественными производителями, структурно представляют собой автономный инвертор напряжения, на выходе которого формируется напряжение квазисинусоидальной формы методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Сложность процессов, протекающих в силовом канале частотно-регулируемого электропривода, устанавливает повышенные требования к его электромагнитной совместимости (ЭМС) с иным электрооборудованием, размещенным рядом. В частности, одним из недостатков аналогичных систем, особенно при присутствии кабелей значительной длины, соединяющих преобразователи частоты с двигателями, является то, что они являются довольно сильными источниками электромагнитных помех, какие имеют все шансы негативно воздействовать как на саму систему электропривода, так и на расположенное возле нее оборудование.

Влияние перенапряжений оказывает отрицательное воздействие на изоляцию как обмоток двигателя, так и кабеля, то что приводит к её преждевременному износу, который, в свою очередь, способен послужить причиной к пробое изоляции и их выходу из строя. [8]

Фактором появления импульсов считается сложный переходный процесс, образующийся из-за присутствия индуктивности и емкости кабеля, распределенных по его протяженности, который возбуждается импульсами напряжения разной полярности с фронтами краткой продолжительности (от долей вплоть до единиц микросекунд). Присутствие высокочастотных составляющих в диапазоне питающего напряжения приводит к появлению дополнительных потерь в стали магнитопровода электродвигателя, то что в свою очередь, приводит к его увеличенному нагреву и потребности снижения его полезной мощности. Помимо этого, провод (в том числе и экранированный) предполагает собою при наличии высокочастотных элементов напряжения собственного рода «антенну», излучающую в окружающее пространство электромагнитное поле существенной интенсивности, что способен негативно воздействовать как на информационный канал самого электропривода, таким образом и в расположенное поблизости слаботочное спецоборудование систем промышленной автоматизации, вызывая ошибочные срабатывания или

отказы измерителей, появление помех в информационных каналах и нарушения работы устройств управления.

С целью приближения формы напряжения на выходе преобразователя частоты к синусоидальной, изготовителями (Siemens, Schaffner и другими) выпускаются всевозможные фильтры, подключаемые к выходным клеммам преобразователя частоты, среди которых максимальное распространение приобрели дроссели и индуктивно-ёмкостные фильтры.

1.2 Обзор существующих методов определения стойкости кабельных изделий к электротепловым нагрузкам.

При работе электропривода появляются электрические нагрузки значительной интенсивности, которые действуют на изоляцию в течение всего времени эксплуатации при рабочих температурах.

Электроизоляционные использованные материалы кабельных изделий должны обладать нужной стойкостью к частичным разрядам, к дугостойкости, к коронным разрядам, а кроме того к воздействию электротеплового старения.

При высокой напряженности электрического поля в отдельных составляющих изоляции имеют все шансы происходить разряды (пробой), которые никак не приводят к полному пробое электроизоляционной конструкции. Подобные разряды приобрели название частичных разрядов.

На участке роста приложенного к зоне дефекта напряжения появляется один либо ряд частичных разрядов, приводящих к перенапряжению потенциалов изнутри объема изоляции.

Если дефект находится ближе к наружной поверхности изоляции, к более высочайшему потенциалу, в таком случае частичный разряд будет более на положительной полуволне питающего напряжения и менее на отрицательной. В случае если дефект находится ближе к «земляному»

потенциалу, в таком случае наоборот, разрядов станет больше на отрицательной полуволне питающего напряжения.

Испытания проводятся на установке, позволяющей отделять импульсы частичных разрядов от приложенного напряжения переменного тока частота 50 Гц, среди токопроводящей жилой и экраном. Установка состоит из высоковольтного трансформатора, генератора, киловольтметра и осциллографа.

Чувствительность установки не ниже 2 пКл. Разделка и подключения проводов проделывались, таким образом, чтобы были исключены разряды в концах образцов. Напряжение начала частичного разряда в изоляции обуславливалось с помощью киловольтметра при плавном увеличении напряжения и фиксации появления частичного разряда с помощью осциллографа, интенсивность разрядов никак не должна превышать 2 пКл. Период приложения напряжения к изоляции кабеля составляло 1 минуту.

Методы установления стойкости электроизоляционных материалов к воздействию дуги.

Дугостойкость диэлектрика представляет собою способность выдерживать влияние электрической дуги без недопустимого смещения в худшую сторону его качеств.

Различают стойкость электроизоляционных материалов к воздействию электрической дуги при значительном (выше 1000 В) переменном напряжении и небольших токах и при воздействии дуги, формируемой постоянным напряжением вплоть до 1000 В. Выбор метода испытаний зависит от особенностей испытуемого материала, его назначения и т.д.

Электроды, с приложенным переменным напряжением располагаются близко к поверхности образца. Образующаяся электрическая дуга воздействует на испытуемый материал и вызывает появление токопроводящей перемычки среди электродов (рисунок 1.4).

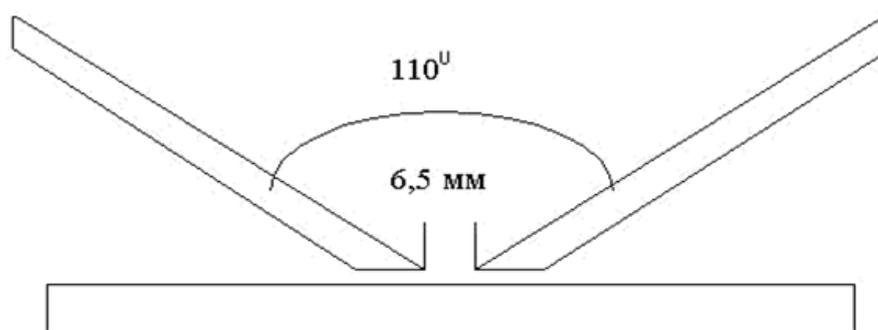


Рисунок 1.4 – Определение стойкости к воздействию электрической дуги напряжения переменного тока

Из-за шунтирования воздушного промежутка перемычкой дуга погасает. Подобным способом, момент появления перемычки фиксируется по погасанию дуги. Параметрами дугостойкости считается в данном случае ток I_d и время t_d , нужное для образования перемычки. Толщина образцов не меньше 3 миллиметров. Напряжение в электродах 12,5 кВ при токе от 10 вплоть до 100 миллиампер.

Методы определения стойкости электроизоляционных материалов к воздействию поверхностных разрядов.

Под влиянием короны и образующихся под её воздействием химических соединений происходит эрозия изоляционного материала, которая может доходить до такой степени, то что оставшаяся изоляция никак не выдерживает приложенного напряжения и происходит пробой. Допустимо кроме того изменение физических свойств материала под воздействием короны: материал меняет размеры, становится непрочным, трескается.

Параметрами, используемыми с целью сравнительной оценки материалов в условиях короны, предназначаются: начальное напряжение короны U_a — наименьшее напряжение, при котором прослеживается корона, критическое напряжение короны $U_{кор}$ — напряжение, при котором процесс завершается пробоем образца через определенное для данных условий испытаний время $t_{кор}$, время $t_{кор}$ — время от основы воздействия короны вплоть до момента пробоя. Суть метода испытаний состоит в том, что к

образцу прикладывают напряжение, достаточное для появления короны, и выдерживают его до пробоя образца.

Методы установления стойкости электроизоляционных материалов к электротепловым нагрузкам.

Суть метода на тепловое старение изоляции сводится к тому, то что образцы помещаются в специальные шкафы, или камеры, в которых они выдерживаются в течении определенного времени при высоких температурах, как правило лежащих в пределах 60 -130°C в зависимости от используемого материала. В некоторых случаях, помимо влияния температуры на образцы, может даваться одновременно воздействие других факторов, к примеру, электрического поля. Для твердой изоляции более характерным считается постепенное снижение механической прочности в ходе теплового старения, что приводит к дефекту изоляции под воздействием механических нагрузок и далее к её пробую.

При работе от преобразователя частоты изоляция электродвигателя испытывает влияние наиболее высокого напряжения, чем при работе от источника синусоидального напряжения такой же амплитуды и частоты. Что приводит к появлению коронных разрядов в изоляции обмоток в ходе регулирования (изменения частоты) электрического привода.

Как результат, совершается быстрое старение изоляции, что влияет на уменьшении надежности и времени работы электрической машины. В особенности опасны подобные перенапряжения для межвитковой изоляции обмоток, как более слабого звена всей системы изоляции. Используемые до настоящего времени обмоточные провода для низковольтных обмоток изготавливались без учета стойкости к таким перенапряжениям, таким образом, как величины рабочих напряжений при эксплуатации АД были существенно меньше напряжения начала образования электрических разрядов в изоляции.

Использование новейших систем частотного регулирования электроприводом привело к изменению уровня электрических эксплуатационных нагрузок. Что в свою очередь стало причиной ускоренного электрического износа изоляции с дальнейшим появлением пробоя. Помимо этого, обозначился ряд вопросов, связанных с разработкой, испытанием и использованием короностойких систем изоляции, решение которых даст возможность обеспечить необходимый уровень прочности в процессе эксплуатации. В данном плане в особенности немаловажно определение способности эмалевой изоляции кабель, как главного элемента, который обеспечивает надежность витковой изоляции, выдерживать высокие электрические нагрузки.

1.3 Постановка задач на исследование

Ознакомившись с процессами, протекающими в частотно регулируемом приводе на базе широтной импульсной модуляции, а также их воздействие на элементы системы, можно сделать следующие выводы:

1. При работе ЧРП на базе широтной импульсной модуляции появляются электрические перенапряжения, которые неблагоприятно сказываются на сроке службы межвитковой изоляции. Исходя из этого необходимо учитывать способность изоляции выдерживать подобные нагрузки.

2. На сегодняшний день в технической литературе недостаточно рекомендаций по проведению аналогичных испытаний.

3. Недостаточно данных по стойкости изоляционных материалов к подобным нагрузкам. В следствии этого невозможно обоснованно выбрать материал для межвитковой изоляции изделий.

4. По сравнению с отечественной промышленностью это относительно новый тип изоляции и в связи с этим недостаточно информации по применению таких изделий для межвитковой изоляции.

При исследовании стойкости межвитковой изоляции к повышенным электротепловым нагрузкам характерных для работы частотно регулируемого электропривода на базе ШИМ является актуальной задачей, так как это позволит более обоснованно выбрать материал, дать рекомендацию по их применению и обеспечить надежную работу при воздействии подобных нагрузок. Исходя из этого в данной работе ставится цель: провести сравнительную оценку стойкости изоляции образцов.

Для достижения поставленной цели следует решить поставленные задачи:

1. Более подробно изучить характер и величины электрических перенапряжений в межвитковой изоляции обмоток.
2. Отработать свою методику проведения экспериментов по оценке стойкости межвитковой изоляции обмоток в системе ЧРП к воздействию электротепловых нагрузок.
3. Провести ряд сравнительных испытаний на стойкость межвитковой изоляции обмоток к электротепловым нагрузкам.
4. Проработать рекомендации по применению материалов для межвитковой изоляции обмоток с учетом особенностей эксплуатации в системах частотного регулирования.
5. Оценить влияние искусственно нанесенных дефектов на среднее время до пробоя.
6. Оценить влияние пропиточного состава на среднее время до пробоя.

2 Методическая часть

2.1 Методика подготовки скруток

Подготовка образцов осуществляется путем нарезки провода нужной длины и дальнейшей скрутки (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Пример скрутки.

Участок испытываемого образца равен 125 мм. Скрутка осуществляется на специальном оборудовании (рисунок 2.2).

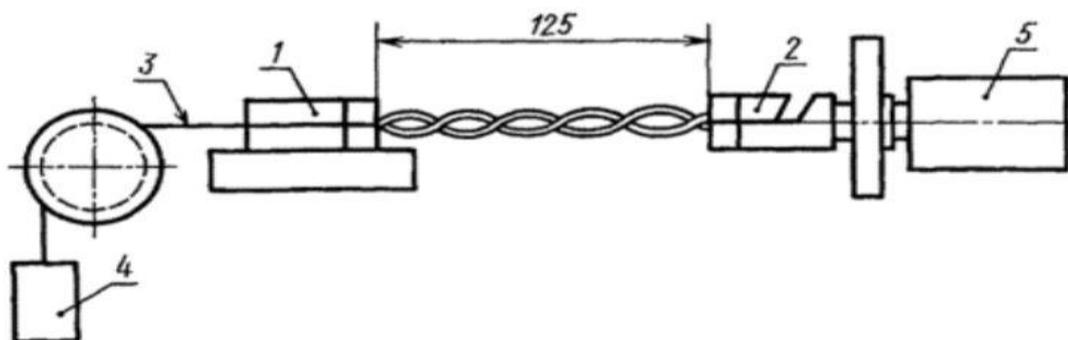


Рисунок 2.2 – Схема устройства для скрутки провода:

1 – скользящий зажим; 2 – поворачивающийся зажим; 3 – образец проводника; 4 – груз; 5 – рукоятка.

Данный механизм включает в себя набора грузов, обеспечивающих соответствующее натяжение проводов при скручивании. Натяжения испытываемого провода при скрутке должно соответствовать нагрузке, которое обеспечит груз массой 1 кг, приходящимся на 1 мм^2 площади поперечного сечения проводника. Максимально допустимое отклонение массы не должно превышать 20%. [13] Количество скруток зависит от диаметра провода и соответствовать указаниям данным в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Зависимость числа скруток от номинального диаметра
проволоки

Номинальный диаметр проволоки, мм	Число скруток на длине 125 мм
0,315-0,53	10
0,55-0,80	9
0,83-1,32	7
1,40-2,12	4
2,24-2,50	3

Оба конца скрученного образца должны быть разрезана и разведены в противоположенные стороны, с другого конца образца, изоляция должна быть удалена.

Порядок проведения работы:

1. Нарезали отрезки эмалированного провода нужной длины.
2. Закрепили провод на специальном оборудовании.
3. Скрутили образцы провода в виде стандартных скруток, изготовленных по госту (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Общий вид образцов эмалированного провода.

2.2 Методика подготовки образцов с искусственно нанесенными дефектами

Порядок проведения работы:

1. Нарезали отрезки эмалированного провода нужной длины.
2. Далее проводник поместили на специальное оборудование для скрутки (рисунок 2.4).

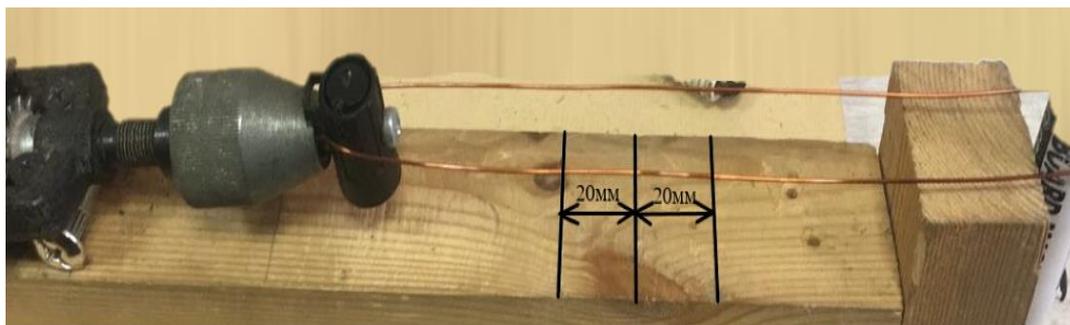


Рисунок 2.4 – Общий вид установки для скрутки

3. Нанесли дефекты с помощью лезвия по центру испытуемой скрутки и в стороны влево и в право на расстоянии 20мм (рисунок 2.4).
4. Далее скрутили проводник согласно ГОСТу, испытуемая длина скрутки составляет 125мм (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5-Образец испытуемой скрутки

5. После чего отметили проводник с искусственным дефектом, зачистили концы для подключения к электродам, и разрезали противоположенную сторону скрутки.

2.3 Методика определения короностойкости эмалированных проводов

Под эксплуатационными нагрузками электрических машин понимается совокупность различных факторов, возникающих на этапе эксплуатации, в том числе электрическое, механическое и тепловое воздействие. При рассмотрении ЧРП с ШИМ необходимо также учитывать воздействие коронных разрядов.

Для того чтобы оценить воздействие эксплуатационных нагрузок, необходимо имитировать условия эксплуатации реальных обмоток электрических машин. Поэтому разработанное испытательное оборудование должно обеспечить распределение величин электрических напряжений таким же образом, как и в обмотках ЧРП с ШИМ.

Испытания проводятся на лабораторном стенде, на рисунке 2.6 приведена блок-схема высокочастотной установки.

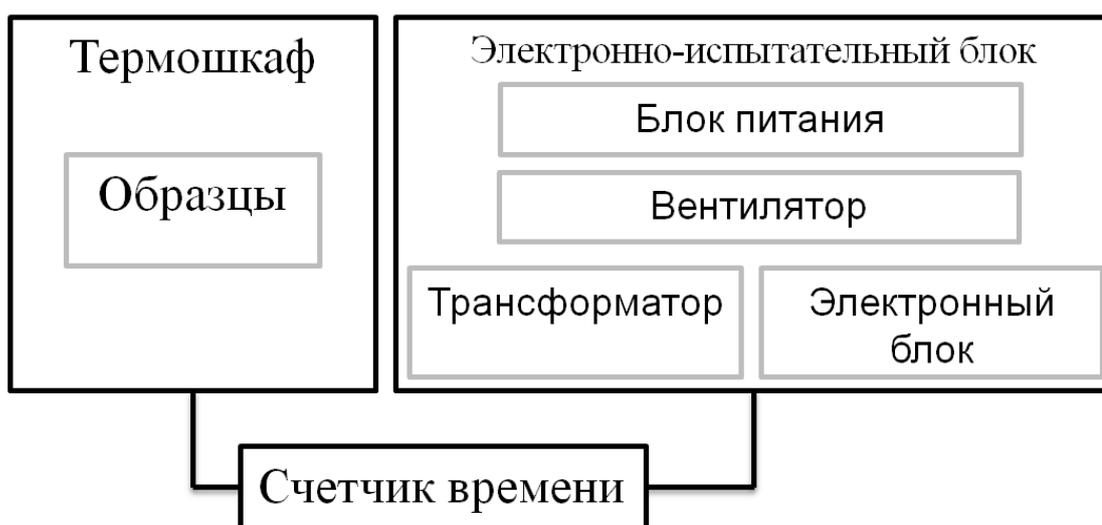


Рисунок 2.6 – Блок-схема высокочастотной испытательной установки

Данный лабораторный стенд с высокочастотным блоком имеет следующие характеристики: подводимое напряжение переменного тока с амплитудой 1200 В, частотой 400 Гц с частотой (модуляции) квантования напряжения 5 кГц с (длительность фронта волны) крутизной нарастания переднего фронта 4 мкс и температура, соответствующая классу нагревостойкости эмалированного обмоточного провода (рисунок 2.7). [14]

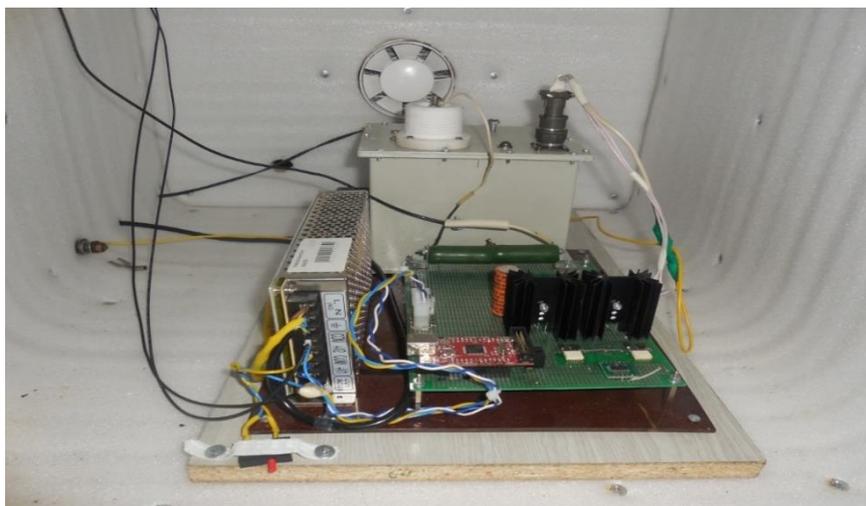


Рисунок 2.7 – блок для генерации высокочастотных модулированных сигналов

Далее согласно методике, выполненной в пунктах 2.1 и 2.2 готовые образцы, скрученные по госту:

1. Размещаем образцы в термошкаф, рисунок 2.8



Рисунок 2.8 – Термошкаф с образцами

2. Устанавливаем в термошкафу необходимую температуру для проведения испытаний (выбирается в зависимости от температуры класса нагревостойкости) (рисунок 2.9), в нашем случае температура составляла 180°C.



Рисунок 2.9 – Блок управления термошкафом

3. Подаем на образцы высокочастотный электрический сигнал.
4. Путем нескольких проведений испытаний получаем образцы с разным временем старения.

3 Экспериментальная часть

3.1 Объекты исследования

В данной работе объектами исследования являются обмоточные провода марки ПЭТД-180, ПЭТД2-К-180 и пропиточный состав марки КП50.

ПЭТД-180.

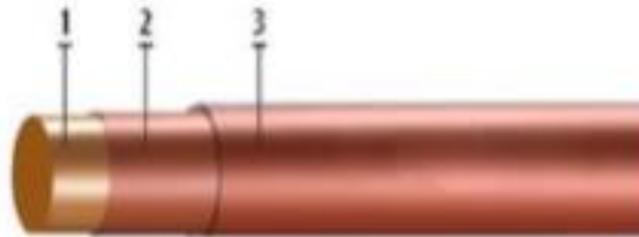


Рисунок 3.1 – Провод обмоточный марки ПЭТД-180

- 1 – медный проводник; 2 – изоляция из полиэфиримидного лака;
3 – изоляция из полиамидимидного лака.

Проводник из меди круглый с двухслойной изоляцией из терлостойкого лака. Проводник предназначен для механизированной намотки, обмотки электрической машины и аппаратов, трансформаторов, генераторов, катушек, измерительных приборов, аппаратуры связи. Выпускаются диаметром 0,2-2мм. Так как проводник обладает хорошими свойствами работы с химическими веществами используется для изготовления оборудования химической, газовой и нефтеперерабатывающей промышленности. Температурный индекс – ТИ-180. Обладает высокими механическими и тепловыми характеристиками. Минимальная температура для работы минус 60°С. Изоляция проводника стойка к деформации при температуре 260°С, к воздействию теплового удара при температуре 200°С. Пробивное напряжение данного типа провода, непосредственно нашего диаметра лежит в пределах от 4200 до 5000В. Значение стабильности пробивного напряжения(Р)-0,96. Удлинение провода до разрыва не менее 28-30%. Диаметр изоляции составляет 0,060мм. [16,17]

ПЭТД2-К-180.

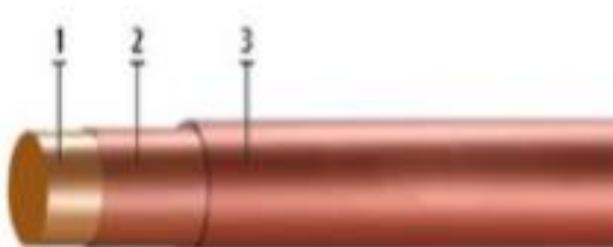


Рисунок 3.2 – Обмоточный провод марки ПЭТД2-К-180

1 – медный проводник диаметром от 0,2 до 5мм; 2 – оболочка из короностойкого и модифицированного полиэфиримидного лака;
3 – изоляция из полиамидимидного лака.

Обмоточный провод, содержащий токопроводящую жилу, покрытую двухслойной изоляцией. При этом внутренний слой выполнен из эмали полиэфиримидной короностойкой, а внешний слой выполнен из эмали полиамидимидной. Изготавливается диаметром от 0,2 до 5 мм. Обладает высокой механической прочностью. Изоляция проводов эластична после действия температуры (200 ± 5) °С в течение 30 мин и стойка к продавливанию при температуре (265 ± 5) °С. Проводник применяется в электрических машинах, аппаратах, приборах с частотным регулированием, стойкие к растворителям. [5,6,19]

Пропиточный состав КП-50.



Рисунок 3.3 – Общий вид используемого в работе компаунда КП-50 с добавлением отвердителя

По внешнему виду компаунд напоминает однородную прозрачную жидкость не содержащая каких-либо посторонних включений. Компаунд представляет собой смесь полимеризационноспособных олигомеров не содержащих растворителей. Сохраняет пониженную пожароопасность и токсическое выделение. Данный компаунд используется для пропитки и заливки обмоток электродвигателей и аппаратов, изготовленных в общеклиматическом исполнении с использованием проводников с эмалевой и волокнистой изоляцией. Продолжительность высыхания полимеризации в толстом слое при смешивании с пастой перекиси бензоила при температуре 120 градусов составляет примерно 30-60 минут, в тонком слое с содержанием пасты перекиси бензоила при температуре 120 градусов составляет приблизительно 30 минут.

Компаунд смешивался с отвердителем пероксида бензоила (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Паста пероксида бензоила

Паста представляет собой густую смесь белого цвета без содержания каких-либо оттенков, в процентном соотношении смешивания с компаундом составляет 3-5% от массы компаунда, после смешивания срок хранения компаунда и отвердителя уменьшается в разы.

3.2 Пропитка скруток с искусственно нанесенными дефектами

Пропитка скруток с искусственно нанесенными дефектами выполняется в 3 этапа:

1. Предварительная сушка образцов;
2. Пропитка образцов;
3. Сушка пропитанных образцов.

Сушка образцов производилась в термошкафу марки ГП-20-СПУ (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Стерилизатор воздушный медицинский ГП-20-СПУ

Данный термошкаф обеспечивает:

- Равномерное распределение температуры по всему объему, за счет циркуляции воздуха с помощью вентилятора находящегося на стенке шкафа.
- Установку и регулировку температурных режимов;
- Автоматический счетчик времени заданных режимов;
- Контроль температуры в автоматическом режиме непосредственно в камере;
- Запуск программы в заданное время (ночной режим);
- Установка скорости нарастания температуры 2,5,7 градусов в минуту;
- Цифровая индикация рабочей и заданной температуры.

Следующими преимуществами данного стерилизатора является:

- Минимальное время входа в рабочий режим;
- Небольшим энергопотреблением;
- Малыми габаритами и весом;
- Высокой надежностью в работе;
- Защитой от перегрева.

Подготовка пропиточного состава производилась на весах марки CAUW 120D (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Лабораторные аналитические весы CAS CAUW-120D

Технические характеристики:

- электромагнитная компенсация;
- при изменении температуры, оказывающем влияние на точность, весы автоматически проводят калибровку;
- подсчет предметов;
- взвешивание в %;
- режим сравнения;
- режим суммирования;

- возможность округления показаний;
- перевод в различные единицы измерения (24 единицы взвешивания);
- наибольший предел взвешивания: 120 / 42 г;
- дискретность отсчета: 0,0001 / 0,00001 г;
- максимальная масса взвешивания 120г;
- минимальная масса взвешивания 1мг.

Пропитка образцов проводилась в несколько этапов:

- образцы в виде стандартных скруток подвергались предварительной сушке они помещались в термощкаф и при температуре 100°С выдерживались там в течении 30 мин;
- далее после предварительной сушки образцы вынимались из термощкафа и при помощи заранее подготовленного пропиточного состава подвергались пропитки методом полива каждая скрутка пока вся рабочая поверхность не покрылась компаундом далее образец подвешивался на решетку (рисунке 3.7);

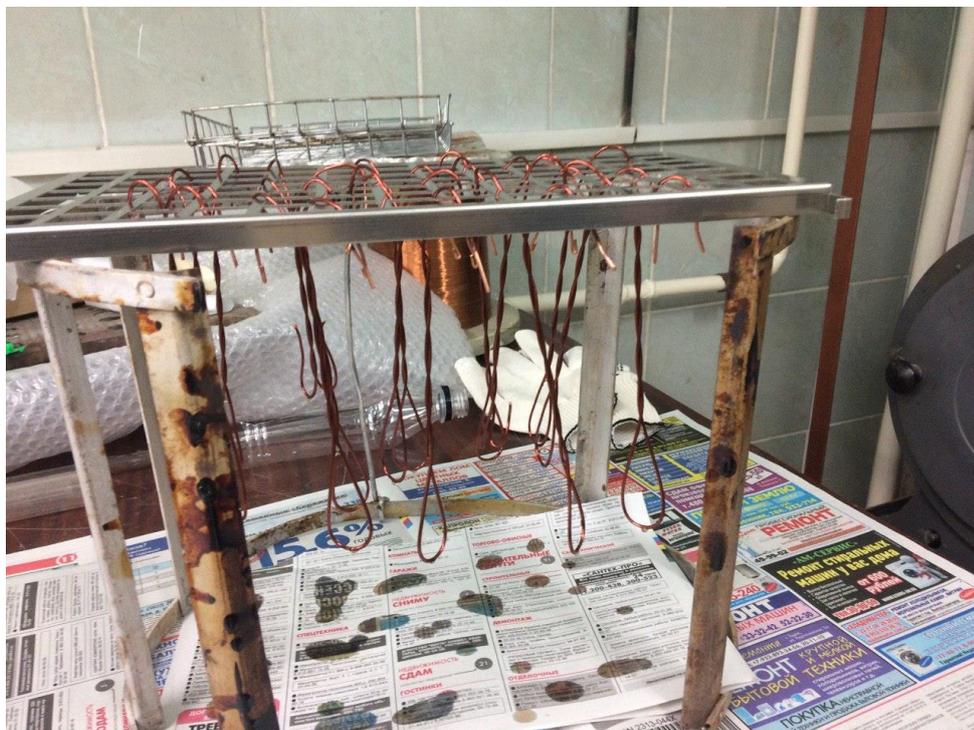


Рисунок 3.7 – Общий вид образцов после пропитки

– после того как все образцы были пролиты пропиточным составом они помещались в термошкаф (рисунок 3.8)



Рисунок 3.8 – Термошкаф с образцами

– Выставлялся режим сушки, по окончанию сушки образцы остывали до комнатной температуры, так как у нас двукратная пропитка пропитывались тем же самым методом на второй раз, помещались в термошкаф и на том же самом режиме производилась сушка.

3.3 Определение среднего время до пробоя образцов эмалированного провода при действии модулированного напряжения

Определение стойкости к эксплуатационным нагрузкам проводилось согласно методике, описанной в п. 2.2-2.4. Опыты были проведены при импульсном напряжении и температуре равной классу нагревостойкости провода. Испытывалось не менее 10 образцов скруток провода на каждую марку.

Таблица 3.1 – Среднее время до пробоя межвитковой изоляции обмоток без искусственно нанесенных дефектов, при разной температуре

Марка провода	Температура, °С	Среднее время до пробоя, $t_{пр.ср.}$, мин.
ПЭТД-180	20	140,4
ПЭТД-180	180	30,3

Для отработки методики испытаний была проведена оценка среднего время до пробоя при подключении дефектного образца на фазу и на ноль, время фиксировалось с помощью электронного счетчика времени. Результаты представлены на рисунке 3.9, в таблице 3.2 и в приложении 1.

Таблица 3.2 – Среднее время до пробоя межвитковой изоляции обмоток

Марка	Пропиточный состав	Среднее время до пробоя, $t_{пр.ср.}$, мин.
ПЭТД-180(фаза(д)-ноль)	-	22,34
ПЭТД-180(ноль(д)-фаза)	-	20,21
ПЭТД2-К-180(фаза(д)-ноль)	КП-50	111,01
ПЭТД2-К-180(ноль(д)-фаза)	КП-50	111,74

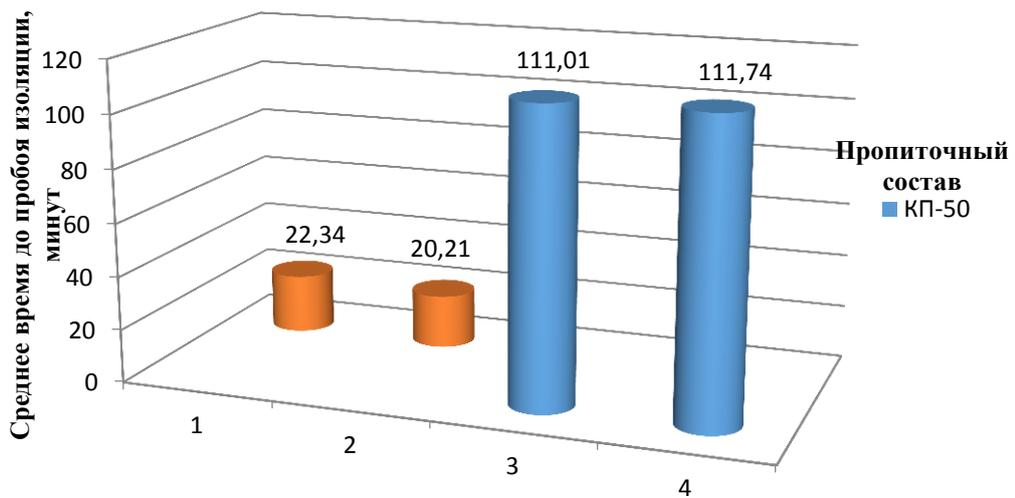


Рисунок 3.9 – Результаты определения среднего времени до пробоя образцов межвитковой изоляции

1 – ПЭТД-180(фаза(д)-ноль); 2 – ПЭТД-180(ноль(д)-фаза);
 4 – ПЭТД2-К-180(фаза(д)-ноль); 4 – ПЭТД2-К-180(ноль(д)-фаза).

Результаты определяющие среднее время до пробоя сопоставимы с аналогичными данными для других систем межвитковой изоляции (рисунок 3.10)

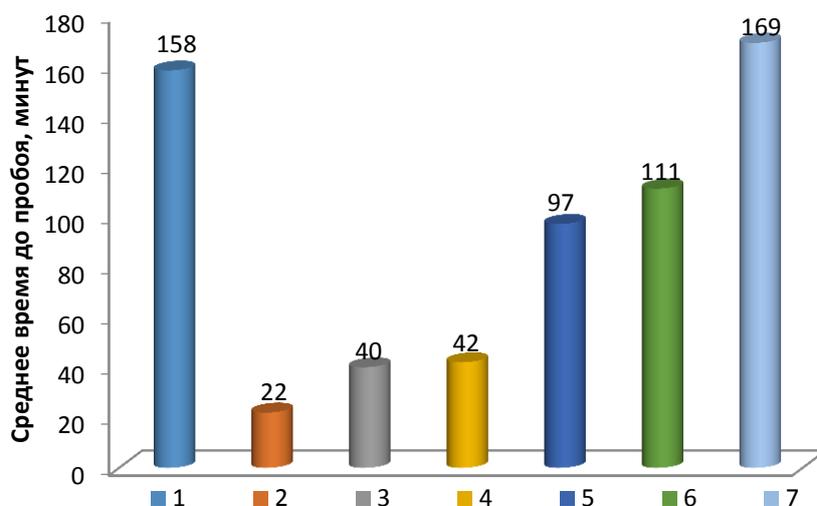


Рисунок 3.10 – Результаты среднего время до пробоя образцов

1 – бездефектные образцы ПЭТД2-К-180; 2 – образцы с дефектами ПЭТД-180; 3 – образцы без пропитки с кольцевыми дефектами ПЭТД2-К-180; 4 – ПЭТД2-К-180 пропитанные лаком КО-916К; 5 – ПЭТД2-К-180 компаундом КП55-5; 6 – ПЭТД2-К-180 с пропиточным составом КП-50; 7 – ПЭТД2-К-180 КП-50 и диаметром провода 1 мм.

3.4 Обсуждение результатов

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1. Действие коронных разрядов приводит к разрушению и пробую межвитковой изоляции. Эксплуатационные воздействия, вызывающие старение изоляции различны, ну так или иначе основной причиной старения является электрическое поле высокой напряженности. Как установлено результатами исследований, под действием электрического поля старение происходит за счет появления в изоляции частичных разрядов.

Разрушающее действие частичных разрядов является результатом теплового воздействия, бомбардировки заряженными частицами (в основном электронами), воздействия химических активных продуктов, образовавшихся в процессе развития частичных разрядов, а также ударных волн и излучения.

Как показано в [3,9], действие этих факторов вызывает эрозию (разрушение поверхности с уносом материала), а также структурные изменения (деструкция, сшивка полимерных цепей). Эрозия может быть обусловлена следующими причинами:

- Окисление полимеров высокореактивными радикалами, существующими только в зоне действия разряда;
- Реакциями микрорадикалов полимера, образовавшимися под действием разрядов, с кислородом газовой среды или другими активными веществами, возникающими в результате частичных разрядов.

- бомбардировкой поверхности диэлектрика электронами и ионами.

Кроме того, эрозию возможно объединить с процессом разогрева поверхности диэлектрика в участках соприкосновения с каналами отдельных частичных разрядов и дальнейшим испарением диэлектрика. Эрозия и распад диэлектрика способна появляться из-за электронной бомбардировки его поверхности, таким образом, как значительная часть энергии разряда переносится электронами. Данное подтверждается сведениями [10], согласно которым эрозия образцов с поверхности, находящейся перпендикулярно направлению разрядов, существенно интенсивнее эрозии с поверхности, расположенной вдоль направления разрядов. С течением времени происходят местные увеличения глубины эрозии; со временем выделяются преимущественные направления активного разрушения материала, какие в ряде случаев имеют все шансы превращаться в ветвистые разрушения (дендриты). При частичных разрядах небольшой интенсивности главную роль в процессе эрозии представляет реакция окисления, скорость которой при свободном доступе кислорода увеличивается в 1,5 раза. При интенсивных разрядах причиной разрушения диэлектрика в большей степени является термодеструкция полимеров из-за энергии разряда. [4]

Все структурные изменения под действием разрядов можно разделить на два типа: первые, сосредоточены до глубины примерно 3 мкм, вызваны непосредственным действием разряда; вторые, сосредоточены на больших глубинах, до 12 мкм, и вызваны действием газообразных продуктов.

Структурные изменения под действием частичных разрядов отличаются от изменений при облучении частицами высоких энергий, и важную роль имеют окислительные процессы.

2. При увеличении температуры резко снижается среднее время до пробоя. Электрическое старение и разрушение диэлектрика под действием частичных разрядов во многом связано с химическими процессами, протекающими в области развития частичных разрядов. Это главным

образом относится к химическим реакциям, протекающим под воздействием на диэлектрик продуктов, возникших в результате частичных разрядов, или реакции микрорадикалов, образовавшихся под действием частичных разрядов, с кислородом газовой среды или другими активными веществами, возникшими в результате частичных разрядов. Скорость протекания этих процессов определяется кинетикой химических реакций. Зависимость скорости реакции от температуры подчиняется закону Аррениуса, для органической изоляции интенсивность химических процессов обычно возрастает примерно в двое с увеличением температуры на каждые 10°C. [11]

С увеличением температуры уменьшается механическая прочность изоляции и коэффициент теплопередачи. При температурном расширении изоляционных материалов ослабевает их структура, расширяются воздушные полости, появляются внутренние механические напряжения. В особенности большие механические напряжения появляются в жестко связанных системах с существенно имеющими отличия коэффициентами теплового расширения.

В процессе старения в изоляции имеют все шансы накапливаться продукты распада, приводящие к формированию газовых пузырей, то что уменьшает её пробивное напряжение и механическую прочность. В результате механического воздействия, особенно внезапного короткого замыкания, ударов и вибрации, такая изоляция может повредиться даже при сравнительно не большом сроке службы. [15]

3. Тепловое старение делает изоляцию более чувствительной к механическим воздействиям. При ослаблении механической прочности изоляция не может противостоять обыкновенным условиям вибрации либо ударам, проникновению влаги и неодинаковым тепловым расширениям, сжатиям меди, стали и изоляционных материалов. В работе [2] приведены многочисленные примеры резкого снижения срока службы при повышении температуры.

4. Наличие сквозных повреждений в изоляции приводит к резкому снижению среднего время до пробоя (рисунок 3.11)

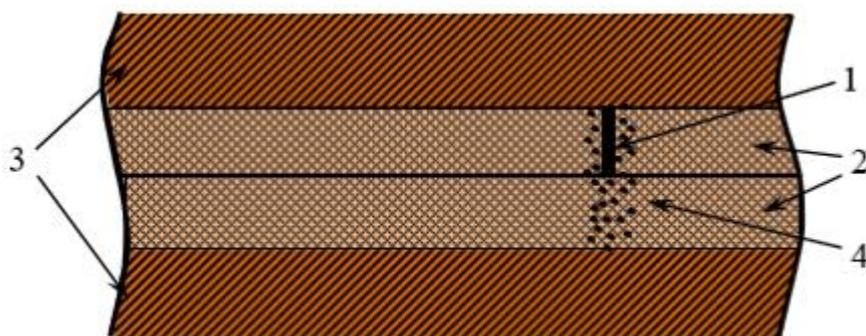


Рисунок 3.11 – Физическая модель отказа низковольтной межвитковой изоляции в обмотке частотно регулируемого привода: 1) сквозной дефект; 2) межвитковая изоляция обмотки; 3) токопроводящая жила; 4) возникновение коронных разрядов в области сквозного дефекта.

5. При проведении испытаний на короностойкость возможно определение пропиточного состава, обеспечивающего лучшее скрытие сквозных дефектов изоляции. По результатам и сравнению испытаний с аналогичными данными ощутимое повышение среднего времени до пробоя обеспечивается при использовании компаунда. Пленка отвердевшего компаунда подвергается меньшей усадке, повышенной толщиной, стойкостью к электротепловым нагрузкам, что обеспечивает хорошее скрытие повреждений, тем самым повышая среднее время до пробоя. Лучшее залечивание сквозных дефектов показал компаунд марки КП-50.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выпускная квалификационная работа в виде магистерской диссертации заключается в оценке величин электрических нагрузок в ЧРП и разработка рекомендаций по применению компонентов межвитковой изоляции.

Повышенный уровень эксплуатационных нагрузок при использовании частотно-регулируемого привода с широтно-импульсной модуляции обуславливает ужесточение требований по конструированию подобных электрических устройств, в том числе применение короностойких электроизоляционных материалов, обмоточных проводов.

Данные модификации приводят к удорожанию конечного продукта, что безусловно отражается на небольшом спросе.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности замены обмоточного эмалированного провода короностойким.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- 4 Провести анализ существующих марок обмоточных проводов и планируемого рынка сбыта.
- 5 Оценить конкурентоспособность инженерного решения.
- 6 Разработать план и график по внедрению короностойких обмоточных проводов, составить смету расходов.
- 7 Показать экономическую эффективность и целесообразность замены обмоточного эмалированного провода короностойким.

4.1 Маркетинг проекта

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что недостаточная оценка рынков сбыта производимой продукции является одной из главных причин несостоятельности многих проектов. Необходим глубокий анализ спроса на продукцию, которую предполагается выпускать, определить, в каких объемах и по какой цене его купят. Определив спрос, устанавливают

максимальный объем производства, который предприниматель сможет осуществить с учетом своих потенциальных возможностей.

Анализ рынка

1. Тип рынка:

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

2. Дополнительный рынок: предприятия, занимающиеся закупками и продажей кабельных изделий ("Компания "ЭТМ", ООО «КабельГрад», ООО «ИнТех»).

3. Потенциальный рынок: предприятия Западносибирского и других регионов РФ.

2. Размеры рынка сбыта:

1. Географическая зона: город Томск, Томская область, Западносибирский регион, выход на рынки РФ (прогноз).

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

3. Целевые сегменты рынка:

4. Тип покупателей: промышленные предприятия, предприятия оптовой и розничной торговли.

Характеристика покупателя – предприятия:

- по отрасли (электротехника, машиностроительное предприятие);
- по текущему состоянию отрасли (устойчивая отрасль);
- по размеру (крупное предприятие свыше 300 человек);
- по типу производства (серийное);
- по потребности в оборудовании (замена изношенных приборов и устройств, модернизация техники, автоматизация производства).

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

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

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

Анализ конкурентов

На территории Российской Федерации конкуренты отсутствуют. Существуют зарубежные аналоги: основной производитель – компания Von Roll (Швейцария). Цена их продукции, значительно выше предлагаемой ЗАО «Сибкабель», кроме того отдельно оплачивается доставка, необходимо проходить таможенный контроль, что сказывается на увеличении сроков доставки. Поэтому их продукция мало используется российскими потребителями. [27]

Ценообразование

1. Тип рыночной ситуации и соответствующая ценовая политика:

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

2. Метод ценообразования:

Метод «затраты + прибыль» учитывает уровень себестоимости и желаемую долю прибыли в структуре цены, его используют для установления пределов приемлемых цен. Величина надбавки к производимым затратам, которая будет применяться на предприятии: 25%. Цена не зависит от цен конкурентов.

Методы стимулирования продаж

1. Стимулирование потребителей:

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

б) Участие в выставках-продажах, ярмарках.

с) Организация экскурсий на предприятие производителя.

2. Стимулирование сферы торговли.

Предоставление рекламных материалов.

Реклама

1. Реклама для успешного продвижения товара на рынок:

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

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

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

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

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

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

с) Издание рекламных буклетов, проспектов и брошюр.

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

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

Расходы на рекламу товаров производственно-технического назначения, как правило, не превышают 2-3% от объема продаж, так как

имеет место прямой контакт с покупателем (выставки, журналы, визиты торговых представителей или менеджеров по сбыту).

4.2 Оценка конкурентоспособности

Проведем оценку конкурентоспособности обмоточных проводов с одинаковым температурным индексом (марки ПЭТД2-К-180 относительно ПЭТД-180) традиционным методом, основанным на расчете единичных и групповых показателей, на базе которых определяется интегральный показатель конкурентоспособности [7]. Метод состоит из шести этапов.

На первом этапе выбирается база сравнения. В качестве базы для сравнения может служить лучший из уже существующих на целевом рынке или в мире товаров-конкурентов, или более совершенный образец, появление которого ожидается в ближайшем будущем, или некоторый абстрактный эталон. В нашем случае обмоточные провода ПЭТД2-К-180 и ПЭТД-180 относятся к категории товаров «имеющие аналоги и уже выведенные на рынок».

На втором этапе выделяются наиболее значимые для потребителя критерии. Они делятся на две группы: потребительские и экономические (таблица 4.1). Первые включают в себя качественные характеристики товара (в нашем случае, пробивное напряжение, прочность на изгиб, прочность на разрыв, число точечных повреждений, относительное удлинение), вторые — цену товара. Значение критерия у базисной модели обозначим $PБ$ (ПЭТД-180), а у сравниваемого образца — P (ПЭТД2-К-180).

На третьем этапе по каждому критерию рассчитывается единичный показатель конкурентоспособности (q_i). Если увеличение значения критерия влечет за собой повышение качества, то

$$q_i = P_i/PБ_i, \quad (3)$$

а если снижение, то

$$q_i = PБ_i/P_i. \quad (4)$$

Расчетные данные занесены в таблицу 4.2

Таблица 4.1 – Значения основных показателей качества. [18,19]

Показатели	ПЭТД-180	ПЭТД2-К-180
Экономические		
Цена (без НДС), руб/кг	540	590
Потребительские		
Пробивное напряжение, В /минимально допустимое значение по ТУ, В	6800/4900	8300/4500
Прочность на изгиб, МПа, не менее	10	12
Показатели	ПЭТД-180	ПЭТД2-К-180
Прочность на разрыв, Н, не менее	10,9	11,2
Число точечных повреждений	170	170
Относительное удлинение, %, не менее	30	32

Таблица 4.2 – Расчет показателя конкурентоспособности. [19,20]

Показатели	Марка провода		Ранг	Вес параметра, а	Индекс, q	q·a
	Pi	PBi				
Экономические				1		1,09
Цена, руб/кг	590	540	1	1	1,09	1,09
Потребительские				1		1,14
Пробивное напряжение, В/минимально допустимое значение по ТУ, В	8300/4500	6800/4900	1	0,30	1,22	0,37
Прочность на изгиб, МПа, не менее	12	10	2	0,25	1,20	0,3
Прочность на разрыв, Н, не менее	11,2	10,9	3	0,21	1,03	0,22
Число точечных повреждений	170	170	5	0,06	1,00	0,06
Относительное удлинение, %, не менее	32	30	4	0,18	1,07	0,19
Сводный индекс конкурентоспособности						1,05

На четвертом этапе внутри каждой группы критериев производят ранжирование показателей по степени их значимости для потребителя и в соответствии с этим присваивают им вес: a_{pi} — для потребительских и a_{ei} — для экономических показателей. Причем

$$\sum_{i=1}^n a_{ni} = \sum_{i=1}^m a_{mi}, \quad (5)$$

где n и m — количество потребительских и экономических параметров соответственно.

Необходимость соблюдения этого равенства обоснуем ниже.

На пятом этапе проводится расчет группового показателя как сводного параметрического индекса конкурентоспособности:

$$Q_n = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_{ni}, \quad (6)$$

$$Q_m = \sum_{i=1}^m q_i \cdot a_{mi} \quad (7)$$

где Q_n и Q_m – сводные параметрические индексы конкурентоспособности по потребительским и экономическим свойствам соответственно.

Вернемся к равенству (5). Его соблюдение обеспечивает сопоставимость Q_n и Q_m вне зависимости от количества рассматриваемых критериев.

На шестом этапе рассчитывается интегральный показатель конкурентоспособности (K):

$$K = Q_n/Q_m, \quad (8)$$

который в нашем случае равен:

$$K = 1,14/1,09 = 1,05. \quad (9)$$

Экономический смысл интегрального показателя конкурентоспособности заключается в том, что на единицу затрат потребитель получает K единиц полезного эффекта. Если $K > 1$, то уровень качества выше уровня затрат и товар является конкурентоспособным, если $K < 1$ – неконкурентоспособным на данном рынке.

Следовательно, можно сделать вывод, что обмоточный провод марки ПЭТД2-К-180 более конкурентоспособен, чем провод марки ПЭТД-180.

SWOT – анализ

SWOT-анализ — метод стратегического планирования, используемый для оценки факторов и явлений, влияющих на проект или предприятие. Все факторы делятся на четыре категории: strengths (сильные стороны), weaknesses (слабые стороны), opportunities (возможности) и threats (угрозы).

Метод включает определение цели проекта и выявление внутренних и внешних факторов, способствующих её достижению или осложняющих его [20].

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

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

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

Таким образом, чтобы поднять спрос на новый вид продукции, необходимо всесторонне информировать потенциальных клиентов путем

проведения рекламных компаний. Нарботанная связь с поставщиками материала обеспечивает своевременное и гарантированное обслуживание.

Планирование и бюджет проекта

Декомпозиция проекта

В таблице 4.4 представлен список выполняемых работ по проекту, продолжительность и стоимость каждой работы, а также количество задействованных рабочих.

Таблица 4.4 – Декомпозиция проекта

Код работы	Наименование работы	Срок выполнения	Количество человек	Стоимость, тыс. руб. (+страховые взносы)
А	Поиск заказчика, заключение контракта	14 дней	1	20
Б	Сбор информации и формирование концепции проекта	3 дня	1	10
В	Разработка и утверждение плана работ заказчиком	3 дня	2	20
Г	Доставка и приемка образцов заказчиком	14 дней	1	1
Д	Входной контроль и испытания опытных образцов	3 мес.	2	90
Е	Анализ результатов испытаний	2 дня	2	6
Ё	Сравнение с аналогами, выявление преимуществ	3 дня	2	8
Ж	Разработка рекламных материалов	14 дней	1	30
З	Подготовка и сдача отчета по проекту	7 дней	2	20
Итого		5 мес.	5 человек	205

При этом в штат организации входят: директор, экономист-менеджер, маркетолог, два инженера-проектировщика.

Сетевая модель:

Сетевая модель – это графическое представление проекта. Она позволяет найти минимальные сроки завершения проекта и отдельных работ, а также определить множество критических работ, увеличение продолжительности выполнения любой из которых приводит к увеличению времени выполнения всего проекта.

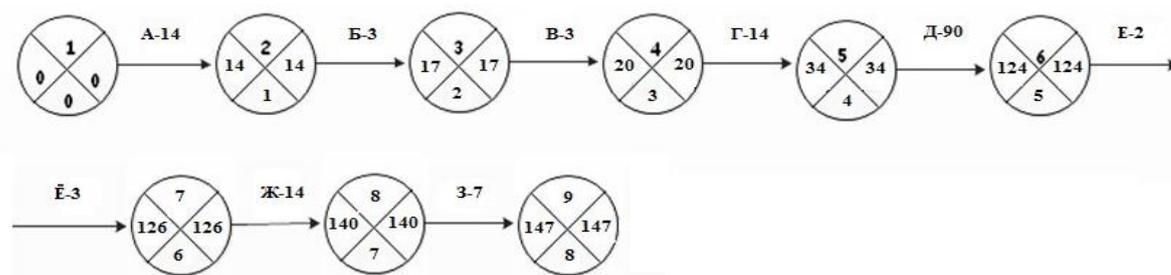


Рисунок 4.1 – Сетевой график

Составление диаграммы Ганта

Диаграмма Ганта – горизонтальная линейная диаграмма, на которой работы проекта представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися временными и другими параметрами [21].



Рисунок 4.2 – Диаграмма Ганта

Диаграмма денежных ресурсов

Диаграмма денежных ресурсов показывает движение денежных средств во времени. На рисунке 4.3 срок выполнения работ разбит на 5 платежных периодов, в конце каждого из них происходит выплата заработной платы рабочим.

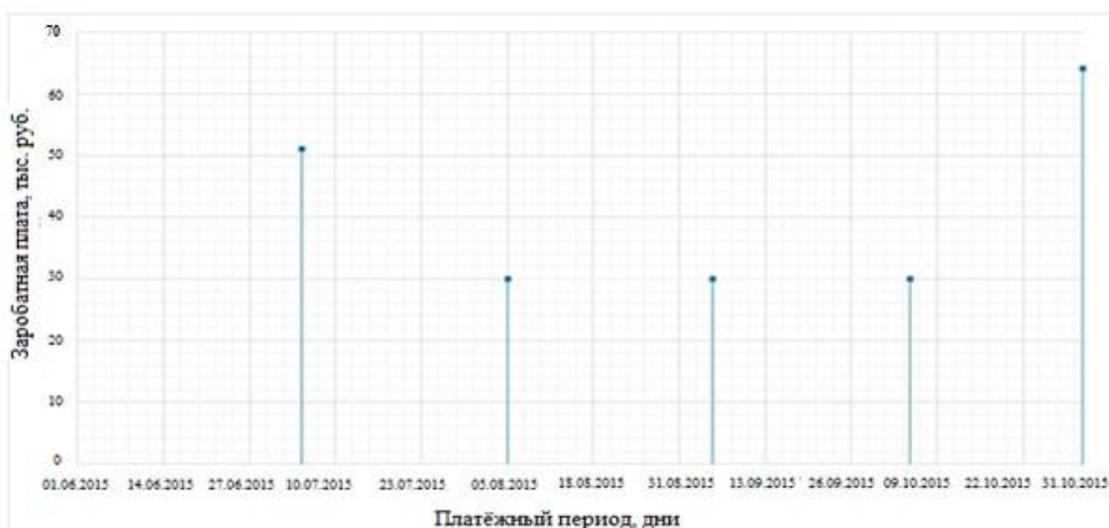


Рисунок 4.3 – Диаграмма денежных ресурсов

Диаграмма трудовых ресурсов

Диаграмма трудовых ресурсов показывает распределение занятости рабочей силы во времени [20].

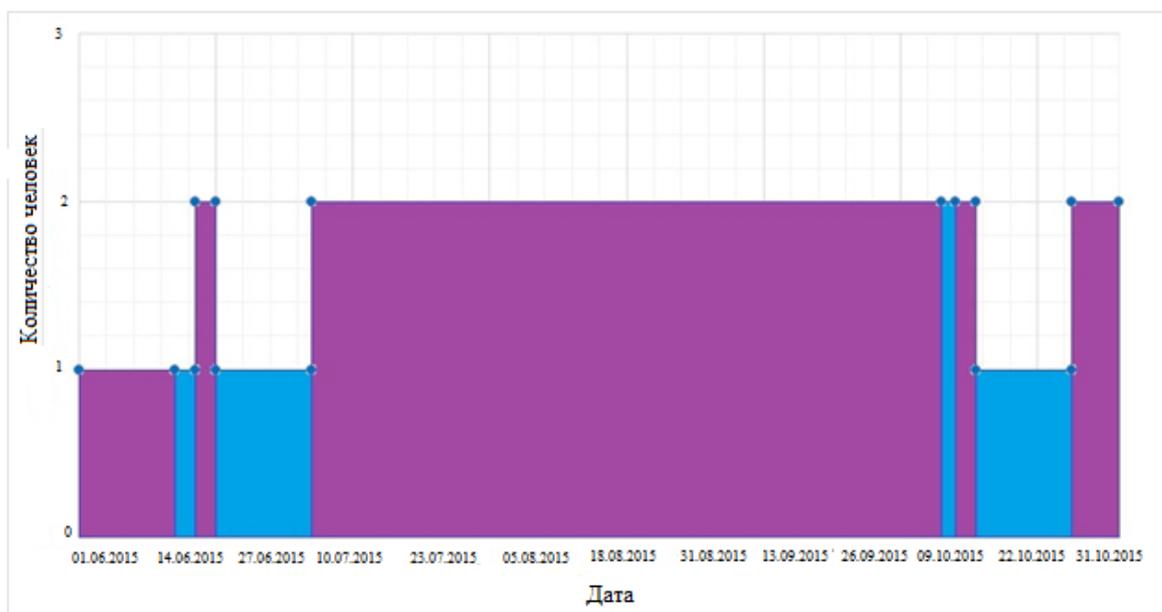


Рисунок 4.4 – Диаграмма трудовых ресурсов

В результате проведенной декомпозиции проекта был разработан план реализации проекта, а именно определен порядок выполнения работ и срок их выполнения, количество сотрудников, задействованных на каждом этапе работы, и их заработанная плата. Построенные диаграммы денежных и трудовых ресурсов показывают занятость рабочих на протяжении срока выполнения работ и календарные даты денежных выплат.

Смета расходов

Смета расходов – группировка предстоящих плановых затрат предприятия на производство и реализацию продукции (работ, услуг) по экономически однородным статьям затрат с учетом изменения остатков незавершенного производства, затрат на капитальное строительство и др. на определенный календарный период.

Таблица 4.5 – Смета расходов

Шифр	Наименование работ	Общая стоимость, тыс. руб.	Участники	Зарплата, тыс. руб.
<i>А</i>	Поиск заказчика, заключение контракта	49,2	директор	14
<i>Б</i>	Сбор информации и формирование концепции проекта	16,4	экономист-менеджер	7
<i>В</i>	Разработка и утверждение плана работ заказчиком	25,4	директор, экономист-менеджер	14
<i>Г</i>	Доставка и приемка образцов заказчиком	26,2	инженер-проектировщик	0,7
<i>Д</i>	Входной контроль и испытания опытных образцов	281,5	инженеры-проектировщики	63
<i>Е</i>	Анализ результатов испытаний	9,6	инженеры-проектировщики	4,2
<i>Ё</i>	Сравнение с аналогами, выявление преимуществ	13,4	инженеры-проектировщики	7,6
<i>Ж</i>	Разработка рекламных материалов	47,9	маркетолог	21
<i>З</i>	Подготовка и сдача отчета по проекту	28,1	директор, экономист-менеджер	14
Итого		497,7		143,5

Продолжение таблицы 4.5

Шифр	Страховые отчисления, тыс. руб.	Материалы, наименование/ тыс. руб.	Эксплуатация машин, наименование/тыс. руб.	Прочее, тыс. руб.	Срок выполнения
<i>А</i>	6	канцелярия 1	компьютер [49] 7	18,2	14 дней
<i>Б</i>	3	канцелярия 1	компьютер 1,5	3,90	3 дня
<i>В</i>	6		компьютер 1,5	3,9	3 дня
<i>Г</i>	0,3		компьютер 7	18,2	14 дней
<i>Д</i>	27	канцелярия 3	компьютер, испытательные установки, КИПиА 70	118,5	3 мес.
<i>Е</i>	1,8		компьютер 1	2,6	2 дня
<i>Ё</i>	2,4		компьютер 1,5	3,9	3 дня
<i>Ж</i>	9	канцелярия 1,5	компьютер 7	18,2	14 дней
<i>З</i>	6	канцелярия 1	компьютер 3,5	12,6	7 дней
Итого	61,5	7,5	100	200	

Примечание: Расходы по эксплуатации машин включают в себя техническое обслуживание и амортизацию установленного оборудования; к затратам на прочее относятся: аренда помещения, налоги, коммунальные платежи, зарплата обслуживающему персоналу, отчисления в пенсионный фонд, транспортные расходы.

Арендная стоимость 1 м² с учетом коммунальным расходов составляет 400 руб/м² в месяц. Так как общая задействованная площадь составляет 35 м² и срок выполнения проекта – 5 месяцев, то расходы составят:

$$400 \cdot 35 \cdot 5 = 70 \text{ тыс. руб.}$$

Основываясь на график проведения работ, рассчитаны расходы на заработную плату сотрудников со страховыми взносами, на канцелярские принадлежности, на эксплуатацию машин, и арендную плату за помещение.

Риски проекта

Для проекта было выделено четыре группы рисков: социальные, экономические, технические и политические, которые были оценены по следующей системе: 0 – риска нет; 25 – событие скорее не произойдет; 50 – ситуация неопределенности; 75 – событие скорее произойдет; 100 – риск велик. Исходя из ранга риска, вычисляется весовой коэффициент и рассчитывается итоговая оценка. Все полученные данные сводятся в общую оценку рисков проекта (таблица 4.11) [20].

Таблица 4.6 – Группы рисков

№	Группа риска	Виды рисков в группе
1	Социальные	1.1 Неэффективная рекламная компания 1.2 Пассивность целевой группы 1.3 Несоблюдение техники безопасности 1.4 Отсутствие командной работы 1.5 Потеря и хищение имущества 1.6 Недостижение поставленных целей 1.7 Риск травматизма
2	Экономические	2.1 Рост цен 2.2 Инфляция 2.3 Изменения условий поставки и стоимости проводов 2.4 Дефицит бюджета 2.5 Недобросовестные поставщики и исполнители 2.6 Непредвиденные расходы 2.7 Изменение налогообложения
3	Технические	3.1 Низкое качество продукции 3.2 Сложность применяемых технологий 3.3 Дефицит расходных материалов 3.4 Травмоопасность подготовленных этапов 3.5 Чрезмерные механические нагрузки на продукцию 3.6 Ремонт на месте (задержки по времени) 3.7 Транспортные задержки при поставке
4	Политические	4.1 Критика в СМИ 4.2 Нарушение действующего законодательства 4.3 Предвзятое отношение со стороны властей и населения 4.4 Запрет на внедрение продукции 4.5 Политическая пропаганда 4.6 Антирекламная компания

Таблица 4.7 – Оценка социальных рисков

Виды рисков в группе	Вероятность наступления риска P_i	Ранг риска b_i	Весовой коэффициент W_i	Итоговая оценка риска $P_i \cdot W_i$
1	50	9	0.15	7.5
2	50	10	0.17	8.5
3	25	10	0.17	4.25
4	25	5	0.08	2
5	25	6	0.1	2.5
6	25	10	0.16	4
7	25	10	0.16	4
Сумма		$\Sigma b_i=60$	$\Sigma W_i=1$	$\Sigma P_i \cdot W_i=32.75$

Таблица 4.8 – Оценка экономических рисков

Виды рисков в группе	Вероятность наступления риска P_i	Ранг риска b_i	Весовой коэффициент W_i	Итоговая оценка риска $P_i \cdot W_i$
1	100	10	0.17	17
2	75	10	0.16	12
3	50	7	0.12	6
4	25	10	0.16	4
5	25	9	0.15	3.75
6	75	7	0.12	9
7	25	7	0.12	3
Сумма		$\Sigma b_i=60$	$\Sigma W_i=1$	$\Sigma P_i \cdot W_i=54.75$

Таблица 4.9 – Оценка технологических рисков

Виды рисков в группе	Вероятность наступления риска P_i	Ранг риска b_i	Весовой коэффициент W_i	Итоговая оценка риска $P_i \cdot W_i$
1	25	8	0.16	4
2	25	8	0.16	4
3	25	7	0.15	3.75
4	25	10	0.21	5.25
5	25	4	0.08	2
6	50	4	0.08	4
7	50	8	0.16	8
Сумма		$\Sigma b_i=49$	$\Sigma W_i=1$	$\Sigma P_i \cdot W_i=31$

Таблица 4.10 – Оценка политических рисков

Виды рисков в группе	Вероятность наступления P_i	Ранг риска b_i	Весовой коэффициент W_i	Итоговая оценка риска $P_i \cdot W_i$
1	25	7	0.1	2.5
2	25	8	0.12	3
3	25	10	0.16	4
4	25	10	0.16	4
5	25	9	0.14	3.5
6	25	10	0.16	4
7	25	10	0.16	4

Сумма		$\Sigma b_i=64$	$\Sigma W_i=1$	$\Sigma P_i*W_i=25$
--------------	--	-----------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------

Таблица 4.11 – Общая оценка рисков проекта

Группы рисков	Ранг b_i	Весовой коэффициент W_i	Вероятность наступления риска P_i	Общая оценка риска P_i*W_i
Социальные	5	0.19	32.75	6.22
Экономические	10	0.37	54.75	20.26
Технологические	8	0.3	31	9.3
Политические	4	0.14	25	3.5
Сумма	27	1		39.28

Таблица 4.12 – Пути решения рисков

Риски	Пути устранения
Социальные	-повышение квалификации сотрудников; -введение современных методов управления.
Экономические	- страхование рисков; - постоянная работа с клиентами; - расширение ассортимента; - гибкая ценовая политика и ряд маркетинговых мероприятий; - расширение круга клиентов.
Технологические	-повышение квалификации персонала; -покупка качественного сырья у проверенных поставщиков.
Политические	-укрепление доверия к государственной политике, принятие новых законов; -обеспечение общественной поддержки преобразований в политической сфере; -получение страхового полиса на случай возникновения политического риска.

Расчет рисков дает общую оценку в 39.28. Вероятность наступления социальных, технологических и политических рисков невысока ($\Sigma P_i*W_i = 32.75; 31; 25$ соответственно), в то время вероятность наступления экономических – 50/50. Данная оценка говорит о том, что проект имеет место быть, несмотря на препятствия.

Эффективность замены обмоточного провода

Экспериментальные данные (п. 3) показали, что стойкость изоляции провода марки ПЭТД2-К-180 к действию коронных разрядов приблизительно в 3 раза выше, чем у провода марки ПЭТД-180. Следовательно, присутствует вероятность того, что в течение срока службы двигателя (20000 ч.) при повышенных нагрузках произойдет

преждевременный отказ, который в свою очередь приведет либо к необходимой замене двигателя, либо к его ремонту.

Проведем анализ экономической эффективности замены стандартного обмоточного провода (ПЭТД-180) асинхронного двигателя (АД) мощностью 22 кВт проводом с короностойким исполнением внешнего слоя изоляции (ПЭТД2-К-180). Для упрощения расчетов примем допущение, что на производстве, где вышел из строя АД со стандартным обмоточным проводом, имеет резервный двигатель. Тогда, можно пренебречь убытками за простой технологической линии.

Таблица 4.13 – Сравнительные характеристики АД с стандартным обмоточным проводом и короностойким

Наименование	Мощность, кВт	Масса меди, кг	Цена, руб. (с НДС)
АД с стандартным обмоточным проводом	22	13	79852
АД с короностойким обмоточным проводом	22	13	80209

В таблице 4.13 показаны необходимые материальные затраты с учетом НДС на ремонт обмотки двигателя.

Таблица 4.14 – Материальные затраты

Материалы	Количество, кг	Цена, руб. (с НДС)	Всего, руб.
ОП ПЭТД-180	13	637,2	8282,6
ПМ КО-916К	5	354,5	1772,5
Прочие материалы (корпусная изоляция, межфазовая изоляция, трубки электроизоляционные, выводные провода, бандажные ленты и пр.)	-	1500	1200
Итого			11256,1

В таблице 4.15 представлены затраты на заработную плату в расчете на одного рабочего с учетом НДФЛ и страховых взносов.

Таблица 4.15 – Заработная плата по обмоточным и изолировочным работам

Кол-во работников	Разряд	Часовой тариф, руб./час	Кол-во часов	Основная зарплата, руб.	Премия (10%), руб.	Страховые взносы (30%), руб	Итого, руб.
1	5	70	40	2800	280	840	3920

Итоговая стоимость ремонтных работ с учетом прибыли организации показана в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Стоимость ремонтных работ

Статьи затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты	11256,1
Заработная плата рабочих	3920
Прибыль ремонтной организации (20%)	2474,82
Общая стоимость	17650,92

Отсюда, можно рассчитать экономическую эффективность замены стандартного обмоточного провода в АД короностойким.

$$\varepsilon = \frac{(17650,92 + 79852) - 80209}{17650,92 + 79852} \cdot 100\% = 18\%. \quad (10)$$

Таким образом, затраты на приобретение АД с обмоткой из ОП марки ПЭТД-180 и его разовый ремонт в течение срока службы (при условии преждевременного отказа обмотки) на 18% выше, чем затраты на АД такой же мощности, но с обмоткой из провода марки ПЭТД2-К-180.

4.3 Выводы по главе

1. Анализ отечественного и зарубежного рынка показал, что в настоящее время широко стоит проблема увеличения надежности ЧРП с ШИМ. На территории Российской Федерации только один завод занимается производством короностойких проводов – ЗАО «Сибкабель», а приобретение зарубежных аналогов налагает дополнительные расходы и увеличение сроков доставки.

2. Оценка конкурентоспособности, приведенная в данном разделе, показала целесообразность разработки и внедрения короностойкого обмоточного провода.

3. Разработан план внедрения нового типа обмоточных проводов, составлена смета расходов, построена сетевая модель проекта, диаграмма Ганта, диаграмма трудовых и денежных ресурсов.

4. Анализ эффективности проекта демонстрирует, что:

несмотря на удорожание короностойкого провода ПЭТД2-К-180 на 6% по сравнению с проводом марки ПЭТД-180, его применение в обмотки двигателя ведет к уменьшению затрат на эксплуатацию АД с частотным управлением и увеличению срока службы;

- использование короностойкого провода сокращает финансовые затраты на 18% при условии наличия резервного двигателя (т.е. без учета издержек простоя производства);

- иной способ решения проблемы – применение фильтров гармоник, цена на которые достигает 50-90% стоимости двигателя в зависимости от марки производителя, что экономически нецелесообразно при малых мощностях.

Таким образом, проект по разработке и внедрению короностойких обмоточных проводов является эффективным и экономически целесообразным.

5 Социальная ответственность

Возникновение преждевременных отказов, широко применяемых ЧРП с ШИМ подтолкнуло к изучению причин их выхода из строя. Оказалось, что на лобовых частях обмотки, воздушных порах и др. возникают перенапряжения, так называемые коронные разряды, которые ускоряют процессы старения изоляции. Для исследования данной проблемы на базе лаборатории ТПУ был разработан и смонтирован комбинированный учебно-лабораторный стенд для проведения высоковольтных и высокочастотных испытаний изоляции обмоточных проводов и систем изоляции обмотки на стойкость к действию коронных разрядов.

В процессе испытаний возникает возможность поражения людей электрическим током, получение ожога при работе с термошкафом и образуются продукты распада при старении изоляции (озон). Пожар выступает в качестве возможной чрезвычайной ситуации на рабочем месте. Поэтому необходимо обеспечить электробезопасность, разработать мероприятия и средства, обеспечивающие защиту людей от воздействия электрического тока и других вредных и опасных факторов.

5.1. Анализ вредных производственных факторов

Образующийся в процессе старения изоляции озон по параметрам острой токсичности относится к 1 классу опасности. Согласно ГОСТ 12.1.007-76 предельно допустимая концентрация (ПДК) озона в воздухе рабочей зоны – $0,1 \text{ мг/м}^3$, максимальная разовая ПДК озона в атмосферном воздухе – $0,16 \text{ мг/м}^3$, средняя суточная ПДК озона в атмосферном воздухе – $0,03 \text{ мг/м}^3$ [30]. При вдыхании высоких концентраций озона (9 мг/м^3) и выше может появиться кашель, раздражение глаз, головная боль, головокружение и за грудиные боли. Возможно появление бронхоспазма и даже начальных стадий отека легких (при многочасовом воздействии высоких концентраций). Для защиты персонала от воздействия озона обязательно систематическое проветривание помещения после получаса работы установки. Иным

способом является установка вытяжки, которая обеспечивает постоянное устранение вредных веществ.

Микроклимат

Микроклимат производственных помещений определяется совокупным воздействием на организм человека температуры, влажности, скорости движения воздуха, теплового излучения нагретых поверхностей. Микроклимат различных производственных помещений зависит от колебаний внешних метеорологических условий, времени дня, года, особенностей производственного процесса и систем отопления и вентиляции.

Согласно работа на лабораторно-учебном стенде в лаборатории относится к классу работ с интенсивностью энергозатрат 120 – 150 ккал/час. В производственных помещениях, в которых работа с лабораторными стендами является основной и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений.

Таблица 5.1 – Параметры микроклимата для производственных помещений

Период года	Параметр микроклимата	Величина
Холодный и переходный	Температура воздуха в помещении	22 – 24 °С
	Относительная влажность	40 – 60 %
	Скорость движения воздуха	до 0,1 м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении	23 – 25°С
	Относительная влажность	40 – 60 %
	Скорость движения воздуха	0,1 – 0,2 м/с

Для обеспечения достаточного постоянного и равномерного нагревания воздуха в рабочих аудиториях в холодный период года используется отопление. Температуру в помещении следует регулировать с учетом тепловых потоков от оборудования. Стенд нужно устанавливать так, чтобы тепловые потоки от него не были направлены на студентов.

С целью поддержания параметров микроклимата в допустимых пределах, а также комфортные условия работы магистрантов применяется

кондиционирование воздуха. Кондиционирование воздуха обеспечивает поддержание параметров микроклимата в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ.

Шум

Другим вредным фактором, оказывающим пагубное воздействие на здоровье человека, является шум.

СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах" нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБА.

Влияние шума на слуховой анализатор проявляется в ауральных эффектах, которые, главным образом, заключаются в медленно прогрессирующем понижении слуха по типу неврита слухового нерва (кохлеарный неврит). Подвергающиеся шумовому воздействию люди, чаще всего жалуются на головные боли, которые могут иметь разную интенсивность и локализацию, головокружение при перемене положения тела, снижение памяти, повышенную утомляемость, сонливость, нарушения сна, эмоциональную неустойчивость, снижение аппетита, потливость, боли в области сердца. Шум – это один из самых сильных стрессорных агентов. Влияние шума сказывается на функциях эндокринной и иммунной систем организма, в частности это может проявляться в виде трех главных биологических эффектов: снижение иммунитета к инфекционным болезням; снижение иммунитета, направленного против развития опухолевых процессов; появление благоприятных условий для возникновения и развития аллергических и аутоиммунных процессов.

Источником шума при работе на установке является импульсный трансформатор, входящий в состав электронно-измерительного блока. Для уменьшения шумового воздействия на человека используются индивидуальные и коллективные средства защиты. В качестве коллективной защиты выступает звукоизоляционный материал, которым покрыта ячейка с

помещенным туда блоком. А противошумные наушники и вкладыши могут использоваться, как средства индивидуальной защиты [32,33,34].

Освещенность

В лаборатории должны быть соблюдены нормы освещенности и качественные показатели освещения в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03[21]. Помещение должны иметь естественное и искусственное освещение. Естественное освещение должно осуществляться через боковые светопроёмы. Искусственное освещение должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

Освещенность рабочей поверхности должна составлять 300-500 лк. Коэффициент пульсации освещенности не более 10 %. Коэффициент естественной освещенности КЕО в лабораторных помещениях должен быть не ниже 1,2%. - при боковом освещении и 3,5% - при верхнем или комбинированном освещении. Коэффициент искусственной освещенности КЕО в лабораторных помещениях должен быть не ниже 0,7%. - при боковом освещении и 2,1% - при верхнем или комбинированном освещении

Произведем расчет искусственного освещения для рабочей лаборатории № 227 8 корпуса ТПУ, в которой проходят лабораторные работы по дисциплине «Физика диэлектриков». Лаборатория имеет следующие размеры:

ширина – 6,5 м,

длина - 8 м,

высота – 3 м,

площадь - 52 м².

Порядок расчёта:

- 1) выбор типа светильников,
- 2) определение количества светильников,
- 3) определение мощности источников света.

В лаборатории предусмотрено общее равномерное освещение, для которого применяются люминесцентные лампы типа ЛБ (лампы белого

цвета), для которых используется светильник типа ОД - 2-30 (длинной 933 мм, шириной 204 мм). Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами:

H - высота помещения (4 м);

$h_c = H - h_n$ - расстояние светильников от перекрытия (свес);

h_n - высота светильника над полом, высота подвеса;

h_p - высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_n - h_p$ - расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью;

L - расстояние между соседними светильниками или рядами;

l - расстояние от крайних светильников или рядов до стены (оптимальное расстояние / рекомендуется принимать равным $L/3$);

λ - интегральный критерий оптимальности расположения светильников.

Для светильника типа ОД - 2-30 $h_n = 4$ м [58]. Тогда $h_c = 4 - 3 = 1$ м.

Учитывая, что $h_p = 0,7$ м, найдём $h = h_n - h_p = 3 - 0,7 = 2,3$ м.

Для светильников типа ОД $\lambda = 1,4$, поэтому

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,3 = 3,22 \text{ м}$$

$$l_a = \frac{\lambda}{3} = \frac{3,22}{3} = 1,07 \text{ м}$$

$$l_b = \frac{6,5 - 2 \cdot 0,204 - 1 \cdot 3,22}{2} = 1,436 \text{ м}$$

На основе данных расчетов рекомендуется разместить светильники в 2 ряда, в каждом из которых можно установить 3 светильника типа ОД - 2 мощностью 30 Вт. При этом разрывы между светильниками в ряду составят 0,3 м. Учитывая, что в каждом светильнике установлено по две лампы, общее число ламп в помещении составит $(3 * 2) * 2 = 12$.

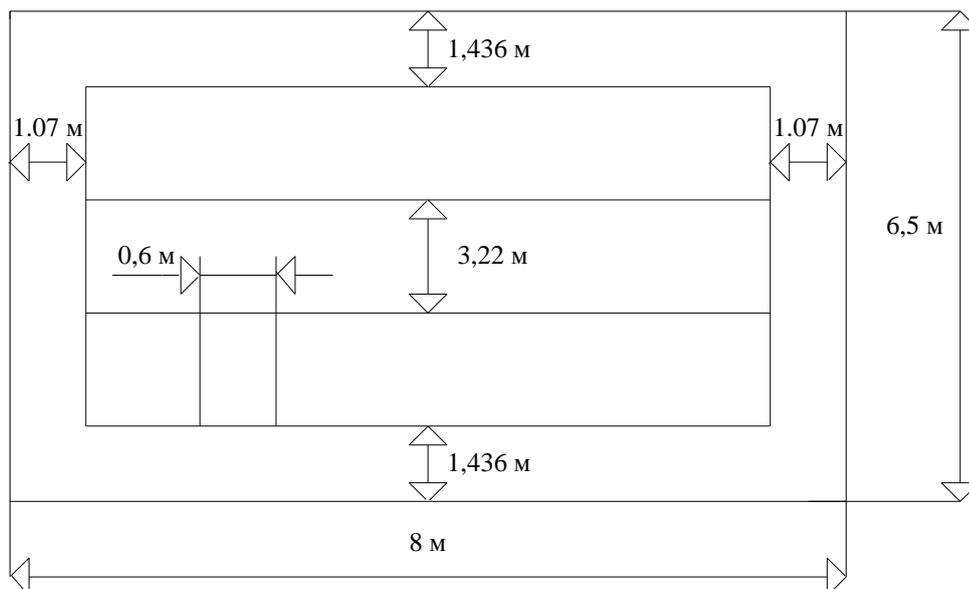


Рисунок 5.1 – План помещения и размещения светильников

Расчет общего равномерного освещения выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отраженный от потолка и стен. Световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$F = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \eta}$$

где E_n - нормируемая минимальная освещенность (для данной категории помещений $E_n = 400$ лк);

S - площадь освещаемого помещения (52 м²);

K_3 - коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, запыленность ($K_3 = 1,5$ - для помещений с малым выделением пыли);

Z - коэффициент неравномерности освещения (для люминесцентных ламп берется равным 1,1);

n - число ламп (12);

η - коэффициент использования светового потока - показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит

от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен p_c и потолка p_n .

Расчет индекса помещения осуществляется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (a+b)}$$

где S - площадь помещения (52 м^2);

h - высота подвеса светильников над рабочей поверхностью ($2,5 \text{ м}$);

a, b - длина и ширина помещения ($a = 8 \text{ м}$; $b = 6,5 \text{ м}$).

В результате $i = \frac{52}{2,3 \cdot (8+6,5)} = 1,56$.

Коэффициенты отражения p_c и p_n имеют следующие значения:

$p_c = 50\%$ (стены свежепобеленные с окнами без штор); $p_n = 70\%$ (потолок свежепобеленный).

Для полученных значений p_c , p_n и i коэффициент использования светового потока $\eta = 53\%$, или $\eta = 0,53$. Подставляя полученные значения в формулу, найдем значение минимально требуемого светового потока для рабочей аудитории:

$$F = \frac{300 \cdot 52 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,53} = 4047 \text{ лк.}$$

Рассчитав световой поток F , зная тип лампы, выберем ближайшую стандартную лампу и определим электрическую мощность всей осветительной системы. Ближайшая стандартная лампа - ЛД 80 Вт с потоком 4250 лк [30]. Напряжение сети 220 В. По результатам данного расчета можно сделать следующий вывод: согласно [29] в рабочей аудитории (размерами 6,5 x 5 x 4 м) со свежепобеленными потолком и стенами, с окнами без штор следует использовать 6 светильников типа ОД – 2-30 с люминесцентными лампами ЛБ мощностью 80 Вт с потоком 4250 лк.

5.2. Анализ опасных производственных факторов

Электрический ток, проходя через живой организм, оказывает термическое, электролитическое, биологическое действия. Термическое действие проявляется в ожогах, нагреве и повреждении кровеносных сосудов, перегреве сердца, мозга и других органов, что вызывает в них функциональные расстройства. Электролитическое действие проявляется в разложении органической жидкости, в том числе крови, что вызывает значительное нарушение ее состава, а также ткани в целом. Биологическое действие выражается в нарушении внутренних биоэлектрических процессов. Например, взаимодействуя с биотоками организма, внешний ток может нарушить нормальный характер их воздействия на ткани и вызвать непроизвольное сокращение мышц. Поэтому необходимо соблюдение мер электробезопасности.

Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека;
- условий внешней среды.

Лабораторию, по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности, согласно ПУЭ.

К работе на электроустановке должны допускаться лица, прошедшие инструктаж и обучение безопасным методам труда, проверку знаний правил безопасности и инструкций применительно к выполняемой работе. Для электробезопасности установка должна быть оснащена устройствами защиты от токов короткого замыкания и перегрузок.

Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и

сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током.

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения и оболочки;
- установка барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Применение двух и более мер защиты в электроустановке не должно оказывать взаимного влияния, снижающего эффективность каждой из них.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

Заземляющее устройство, используемое для заземления электроустановок одного или разных назначений и напряжений, должно удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к заземлению этих

электроустановок: защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции, условиям режимов работы сетей, защиты электрооборудования от перенапряжения и т.д. в течение всего периода эксплуатации.

В первую очередь должны быть соблюдены требования, предъявляемые к защитному заземлению. Требуемые значения напряжений прикосновения и сопротивления заземляющих устройств при стекании с них токов замыкания на землю и токов утечки должны быть обеспечены при наиболее неблагоприятных условиях в любое время года. Заземляющие устройства должны быть механически прочными, термически и динамически стойкими к токам замыкания на землю.

В электроустановках напряжением выше 1 кВ для защиты от поражения электрическим током должно быть выполнено защитное заземление открытых проводящих частей. В таких электроустановках должна быть предусмотрена возможность быстрого обнаружения замыканий на землю. Защита от замыканий на землю должна устанавливаться с действием на отключение по всей электрически связанной сети в тех случаях, в которых это необходимо по условиям безопасности (для линий, питающих передвижные подстанции и механизмы, торфяные разработки и т.п.).[40]

Перед началом эксплуатации электроустановки:

- необходимо проверить исправность защитного заземления и средства автоматического отключения питания;
- запрещается использовать электроаппараты и приборы в условиях, не соответствующих рекомендациям (инструкциям) или с неисправностями, которые могут привести к пожару;
- запрещается пользоваться поврежденными розетками, рубильниками, другими электроустановочными изделиями.

При работе с термощкафом необходимо соблюдать меры безопасности, чтобы не получить термический ожог. Для этого применяются

перчатки или рукавицы из хлопчатобумажной, льняной ткани или грубодисперсного сукна, или других тканей с защитными накладками [34].

В помещение, которое по окончании работ закрывается и не контролируется дежурным персоналом, все электроустановки и электроприборы должны быть обесточены (за исключением дежурного освещения, автоматических установок пожаротушения, пожарной и охранной сигнализации, а также электроустановок, работающих круглосуточно). [42,43]

Экологическая безопасность.

Анализ влияния исследования на окружающую среду

В результате в ВКР будет исследована зависимость, которая, возможно, позволит разработать рекомендации по улучшению электрофизических и механических характеристик изоляции для обмоточных проводов, непосредственно на этапе ее производства и эксплуатации.

Последствия росту рабочих характеристик будет оптимизация производства и увеличение его объема. А это, в свою очередь, понесет за собой развитие стойкости к действию коронных разрядов, а также развития и без того огромных масштабов производства полимеров. Ведь не секрет, что развитие промышленности негативно сказывается на экологии, являясь источником различных видов загрязнений воды, воздуха, земной коры, а также основным потребителем топливных ресурсов, определяющим уровень его добычи

Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.

Возможное улучшение рабочих характеристик, а также стойкости к различным разрушающим воздействиям на полимерную изоляцию является палкой о двух концах.

С одной стороны, увеличение стойкости изоляции к различным воздействиям приведет к увеличению срока службы, что в свою очередь положительно скажется на количестве отходов - больший срок службы

позволяет уменьшить потребность и соответственно сократить количество отходов в год.

Но с другой улучшение стойкости полимеров приведет к увеличению продолжительности их разложения. То есть со временем все больше и больше отходов будут храниться в земле. А это может занимать не год и не два, а до десятков лет.

Решением этой проблемы является, во-первых, разработка и использование технологий, позволяющие максимально экологично перерабатывать полимеры, у которых закончился срок службы. Во-вторых, проблема должна решаться и за счет эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Организации, в которой предполагается использовать разработанную рекомендацию, влияют на окружающую среду как потребитель электроэнергии, поскольку здесь работает большое количество электрооборудования и осветительных приборов.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к этому снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Требования пожарной безопасности

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83. По пожарной, взрывной, взрывоопасной опасности лаборатория, в которой производились испытания относится к категории Д – негорючие вещества и материалы в холодном состоянии. Основным поражающим фактором пожара для помещений данной категории является

наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

Лица допускаются к работе на электроустановки после прохождения первичного инструктажа. Обучение лиц мерам пожарной безопасности осуществляется путем проведения повторного инструктажа один раз в год. [23,43,44,45]

Причинами возгорания электроустановки могут служить:

- несоблюдение техники безопасности;
- короткое замыкание (в случае неисправности блокировок, средств автоматического отключения питания);
- перегрев токоведущих частей и электроизмерительного блока.

Поэтому во избежание пожароопасных ситуаций необходимо соблюдать следующие требования:

- соблюдать требования безопасности при работе на электроустановке;
- очищать помещения от горючих отходов и мусора;
- определить места и допустимое количество единовременного хранения сырья:
 - оборудовать специально отведённые места для курения;
 - запрещается загромождать эвакуационные пути и выходы различными материалами и изделиями, оборудованием, мусором и т.п.
- пожарные гидранты должны находиться в исправном состоянии, а в зимнее время должны быть утеплены и очищаться от снега и льда;
- все средства пожаротушения должны иметь соответствующие сертификаты.
- дороги, проезды и подъезды к зданию должны быть всегда свободными для проезда пожарной техники, содержаться в исправном состоянии, а зимой быть очищенными от снега и льда;

- не реже одного раза в полугодие проводить практические тренировки всех задействованных для эвакуации работников.

Порядок действий при обнаружении пожара или признаков горения и меры по локализации и ликвидации последствий ЧС:

- незамедлительно оповестить пожарную охрану по телефону, назвав адрес объекта, место возникновения пожара и свою фамилию;

- принять возможные меры по эвакуации людей, тушению пожара и сохранности материальных ценностей;

- в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение, используя для этого имеющиеся силы и средства;

- проверить включение автоматических систем противопожарной защиты (оповещения людей о пожаре, пожаротушения, противодымной защиты);

- при необходимости отключить электроэнергию (за исключением систем противопожарной защиты), выполнить другие мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара;

- прекратить все работы в здании;

- удалить за пределы опасной зоны всех работников, не участвующих в тушении пожара;

- осуществить общее руководство по тушению пожара до прибытия подразделения пожарной охраны;

- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;

- одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей;

- организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;

- сообщать подразделениям пожарной охраны, привлекаемым для тушения пожара и проведения связанных с ними первоочередных аварийно-

спасательных работ, сведения о перерабатываемых или хранящихся на объекте опасных, взрывчатых, сильнодействующих ядовитых веществах.

Для тушения пожаров могут использоваться следующие огнетушители: воздушно-пенные (ОВП) вместимостью 10 литров в количестве более 2-х штук, порошковые (ОП) вместимостью, л/ массой огнетушащего состава, килограммов 5/4 более 2-х штук согласно (Постановлению Правительства РФ от 25.04.2012 г. № 390 "О противопожарном режиме») [44]

Помещение, в котором производилось исследование(лаборатория), оборудовано пожарной сигнализацией, которая позволяет оповестить дежурный персонал о пожаре, а также дает сигнал об эвакуации В качестве пожарных извещателей в помещении устанавливаются дымовые фотоэлектрические извещатели типа ИДФ-1 или ДИП-1

План эвакуации людей из помещения, где проводятся испытания на высоковольтной и высокочастотной установки, показан на рисунках 5.2-5.3.

ПЛАН ЭВАКУАЦИИ

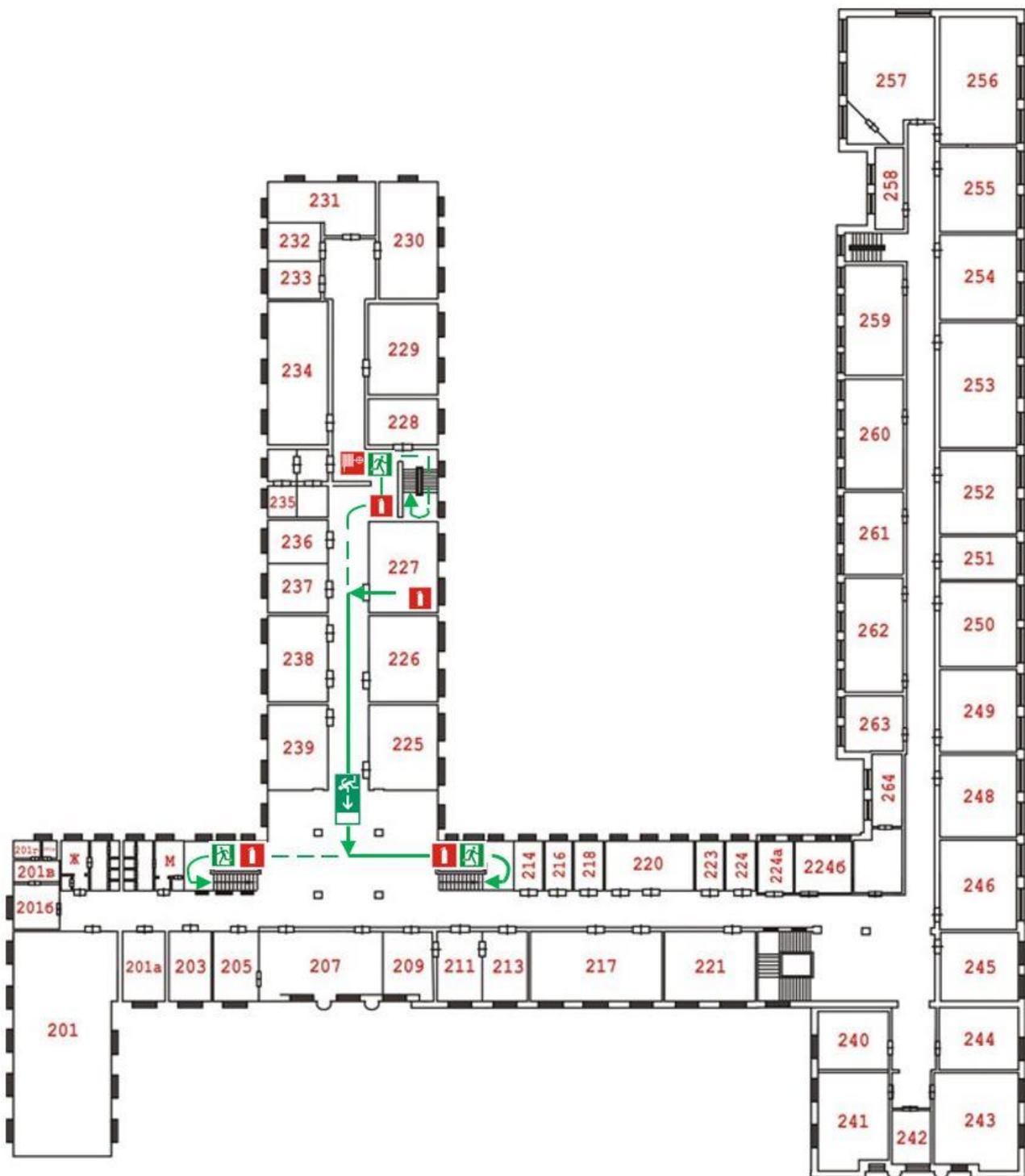


Рисунок 5.2– План эвакуации (2 этаж)

Сплошная линия – основной путь эвакуации, пунктирная – запасной.

ПЛАН ЭВАКУАЦИИ



Рисунок 5.3– План эвакуации (1 этаж)

Сплошная линия – основной путь эвакуации, пунктирная – запасной.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Специальные правовые нормы трудового законодательства

Нормы трудового права – это правила трудовых отношений, установленные или санкционированные государством посредством законодательных актов.

Нормы трудового права регулируют любые отношения, связанные с использованием личного труда.

Формы их реализации разнообразны:

- собственно, трудовые отношения;
- организация труда и управление им;
- трудоустройство работников;
- социальное партнерство, коллективные отношения;
- содействие занятости безработных лиц;
- организация профессиональной подготовки и повышения квалификации;
- обеспечение мер по охране труда граждан;
- осуществление контроля и надзора за соблюдением законодательства;
- социальная и правовая защита работников, решение трудовых споров;
- деятельность профессиональных союзов;
- отношения взаимной материальной ответственности работника и работодателя;
- защита прав и интересов работодателей.

Рассмотрим регулирование коллективных отношений.

Основной задачей коллективного договора является создание необходимых организационно-правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений.

По заключенному коллективному договору работодатель обязан:

- соблюдать трудовое законодательство и иные нормативные правовые акты, содержащие нормы трудового права, локальные

нормативные акты, условия коллективного договора, соглашений и трудовых договоров;

- предоставлять работникам работу, обусловленную трудовым договором;

- обеспечивать безопасность и условия труда, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда;

- обеспечивать работников оборудованием, инструментами, технической документацией и иными средствами, необходимыми для исполнения ими трудовых обязанностей;

- обеспечивать работникам равную оплату за труд равной ценности, постоянно совершенствовать организацию оплаты и стимулирования труда, обеспечить материальную заинтересованность работников в результатах их труда;

- выплачивать в полном размере причитающуюся работникам заработную плату в сроки, установленные в соответствии с ТК РФ, коллективным договором, настоящими Правилами, трудовыми договорами;

- вести коллективные переговоры, а также заключать коллективный договор в порядке, установленном ТК РФ;

- знакомить работников под роспись с принимаемыми локальными нормативными актами, непосредственно связанными с их трудовой деятельностью;

- создавать условия, обеспечивающие участие работников в управлении организацией в предусмотренных ТК РФ, иными федеральными законами и коллективным договором формах;

- осуществлять обязательное социальное страхование работников в порядке, установленном федеральными законами;

- возмещать вред, причиненный работникам в связи с исполнением ими трудовых обязанностей, а также компенсировать моральный вред в

порядке и на условиях, которые установлены ТК РФ, федеральными законами и иными нормативными правовыми актами РФ;

- принимать необходимые меры по профилактике производственного травматизма, профессиональных или других заболеваний работников, своевременно предоставлять льготы и компенсации в связи с вредными (опасными, тяжелыми) условиями труда (сокращенный рабочий день, дополнительные отпуска и др.), обеспечивать в соответствии с действующими нормами и положениями специальной одеждой и обувью, другими средствами индивидуальной защиты;

- постоянно контролировать знание и соблюдение работниками всех требований инструкций по охране труда, производственной санитарии и гигиене труда, противопожарной безопасности;

Работодатель обязуется проводить аттестацию и сертификацию рабочих мест один раз в пять лет с участием представителя профкома.

Если по результатам аттестации рабочее место не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям и признано условно аттестованным, разрабатывать совместно с профкомом план мероприятий по улучшению и оздоровлению условий труда на данном рабочем месте и обеспечивать их выполнение. [31]

Ежегодно издавать приказ о мероприятиях по охране труда и промышленной безопасности, считать эти мероприятия соглашением по охране труда на год.

5.3 Вывод по главе

Основным фактором, влияющим на производительность людей, работающих с учебно-лабораторным стендом, являются комфортные и безопасные условия труда. Условия труда магистрантов в рабочей аудитории характеризуются возможностью воздействия на них следующих производственных факторов: шума, тепловыделений, выделение вредных

веществ, а именно выделение озона, действие микроклимата, недостаточной освещённости, параметров технологического оборудования и рабочего места.

Таким образом, в данном разделе были рассмотрены вопросы техники безопасности при работе с электрооборудованием на напряжение свыше 1 кВ, а также проанализированы вредные и опасные факторы, влияющие на здоровье человека. Были отмечены источники негативного воздействия, меры коллективной и индивидуальной защиты [29].

Заключение

При выполнении магистерской диссертации был проведен литературный обзор, в котором рассматривались условия эксплуатации обмоток частотно-регулируемого привода на базе широтно-импульсной модуляции, основные электроизоляционные материалы и обмоточные провода, применяемые при изготовлении электрических двигателей, методы определения стойкости межвитковой изоляции к электрическим разрядам и пути повышения надежности изоляции двигателей.

В методической части была приведена оригинальная методика определения стойкости эмалевой изоляции обмоточных проводов к действию коронных (поверхностных) разрядов, основанная на помещении образцов провода в среду действия коронных разрядов и измерении среднего времени до пробоя.

В экспериментальной части приведены результаты по оценке стойкости изоляции обмоточных проводов и межвитковых систем изоляции к воздействию коронных (поверхностных) разрядов на высокочастотном лабораторном стенде. Испытания показали, что наибольшая стойкость к коронным разрядам у системы провод ПЭТД2-К-180 и компаунда КП-50. Основным итогом работы представлен в виде рекомендаций по выбору обмоточных проводов, применяемых в обмотках частотно-регулируемого привода на базе широтно-импульсной модуляции.

В разделе социальная ответственность рассмотрены вопросы техники безопасности при работе с электрооборудованием на напряжение свыше 1 кВ, а также проанализированы вредные и опасные факторы, влияющие на здоровье человека. Были отмечены источники негативного воздействия, меры коллективной и индивидуальной защиты.

Список используемых источников:

1. Асинхронный двигатель. Устройство и принцип действия однофазного и трехфазного асинхронного электродвигателя [Электронный ресурс]. http://www.eti.su/articles/elektroprivod/elektroprivod_36.html
2. Андрианов В.К., Пешков И.Б., Мещанов Г.И., Бураков О.Б. Короностойкий обмоточный провод // Патент на изобретение 2008133291/22 опубл. 27.09.2009
3. Багиров М.А., Малин В.П., Абасов С.А. Воздействие электрических разрядов на полимерные диэлектрики, 1975. 167стр
4. Бернштейн Л.М. Изоляция электрических машин общего назначения. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 376 с.,
5. Ваксер Н. М. Изоляция электрических машин. Учебное пособие. Л., изд. ЛПИ, 1985. Пособие предназначено для студентов специальностей «Электроизоляционная и кабельная техника» и «Электрические машины»
6. Гетманенко В.М. Устройство для защиты асинхронного электродвигателя // Научный журнал КубГАУ. – 2011. - №73(09)
7. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
8. Изоляционные материалы для низковольтных устройств. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elmatec.ru/nizkovolt>
9. Койков С.Н., Цикин А.Н. Электрическое старение твердых диэлектриков, 1968. 186с.
10. Койков С.Н., Фомин В.А. Разрушение полиэтиленовой пленки в газовом разряде, направленном перпендикулярно и параллельно поверхности пленки. 1969, 11Б, с. 224-228.

11. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Г. С. Кучинский. — Л.: Энергия, 1979. — 224 с.
12. Конструкция асинхронных двигателей. [Электронный ресурс]—
http://www.agrovodcom.ru/elektrodvigatel/info_konstrukcijaasinhronnyh-dvigatlej.php
13. Коробцов А.А., Леонов А.П., Похолков Ю.П., Солдатенко Е.Ю., Кочетков И.А. «Применение эмалированных проводов в обмотках асинхронных двигателей с частотным управлением» // Кабели и провода № 3 (340), 2013.
14. Леонов А.П., Коробцов А.А., Супуева А.С. Способ определения стойкости изоляции эмалированных проводов к поверхностным разрядам // Патент на изобретение RU 2491565, С1, МПК G01R31/12, опубл. 27.08.2013.
15. Матялис А.П. Изоляция электрических машин. Учебное пособие по курсовому проектированию 1985г.- 85стр.
16. Обмоточные провода - Изоляция электрических машин [Электронный ресурс]. <http://leg.co.ua/info/elektricheskiemashiny/izolyaciya-elektricheskikh-mashin-15.html>
17. Провода и изоляция в электродвигателях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/ekspluat/374-provoda-iizoljacija-v.html>
18. Пешков И.Б. Обмоточные провода: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1995. -416 с.:
19. Провода медные круглые, эмалированные, короностойкие с двухслойной изоляцией, с температурным индексом 180//Каталок продукции ЗАО «Сибкабель»
20. Рыжикова О.Н. Управление рисками инновационных проектов // Аудит и финансовый анализ №1, 2009 – 4 с.
21. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. - Томск: Изд. ТПУ, 2004. - 15 с.

22. Типы и конструкция электрических машин - Силовое электрооборудование электроэнергетики [Электронный ресурс]. – <http://leg.co.ua/info/elektricheskie-mashiny/silovoe-elektrooborudovanie-2.html>
23. . Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. №69-ФЗ. О пожарной безопасности
24. Частотное регулирование электроприводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.e-audit.ru/chrp/index.shtml>
25. . Частотно регулируемый электропривод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://msd.com.ua/teoriya-elektroprivoda/chastotnoreguliruemyj-elektroprivod>
26. Частотное регулирование приводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e-audit.ru/chrp/system.shtml>
27. Чайникова Л.Н. Конкурентоспособность предприятия: учеб. пособие / Чайникова Л.Н., Чайников В.Н., - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 192 с.
28. .Элинар. Группа компаний. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.elinar.ru/Default.htm>
29. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
30. ГН 2.2.5.1313. – 03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. Минздрав России, 1998
31. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96. "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений"
32. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
33. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
34. СНиП П–12–77. Защита от шума.
35. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

36. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 –Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий

37. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. - Томск: Изд. ТПУ, 2004. - 15 с.

38. ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

39. ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов

40. ГОСТ 12.1.030-81. Защитное заземление, зануление.

41. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

42. СНиП 21–01–97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Госстрой России, 1997. – с.12.

43. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. №69-ФЗ. О пожарной безопасности.

44. НПБ 166-97. Пожарная техника. Огнетушители. Требования к эксплуатации.

45. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. И-1-1-95. (с изменениями № 1).

Приложение А

Influence of modulating voltage on the average time before the breakdown of the cable insulation

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Морозов Игорь Анатольевич		

Консультант отделения электроэнергетики и электротехники:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федоринова Зоя Владимировна	к.п.н., доцент		

The research is vital because with the intensive growth of power semiconductor and microprocessor technology, it becomes more possible to create frequency control by an electric drive (VFD). VFD allows us to more accurately control the moment and speed of the drive by the given coordinates, which ensure the nature of the load. The advantages of using VFD include the following factors: high accuracy of regulation, energy saving in case of variable load (engine with partial load), increased life of the equipment, maintaining a constant speed of rotation with changing loads, provides a smoother starting of the engine, significantly reducing the wear of parts and etc. Due to the advantages listed above, it becomes possible to use a frequency-controlled drive in various fields of activity, and to be more precise: in conveyor belts in oil-extracting industries (centrifugal pumps), in air cooling and water supply systems.

The aim of the present work is the assessment of the influence of modulating voltage on the average time of the breakdown of the cable insulation as well as evaluation the effect of artificially applied defects, and conduction tests on the proven methodology.

The objectives of the work are:

- to study in more detail, the nature and magnitude of electrical overvoltages in the interturn isolation of windings;
- to work out its own technique for conducting experiments to assess the resistance of the interturn insulation of windings in the CRF system to the effect of electrothermal loads;
- to carry out a series of comparative tests on the resistance of the interturn isolation of windings to the electrical thermal loads;
- to work out recommendations on the application of materials for the interturn isolation of windings taking into account the features of operation in frequency control systems;
- to assess the effect of artificially applied defects on the average time to breakdown;

- to assess the effect of impregnating composition on the average time to breakdown.

The research object is the enameled winding wire brand (PETD-180, PETD2-K-180) and impregnating compositions (KP-50).

The research methods are: testing of samples with enamel insulation without defects and with artificially applied defects, determination of the average time to sample breakdown and interpretation of the obtained laboratory-analytical data.

The practical value of the work: the experimental data obtained can be recommended to the winding manufacturer for the purpose of selecting the material for the windings of electrical machines.

Structure and volume of the work: The present work has 110 pages. It consists of introduction, 5 basic units, conclusion, references and appendices.

Methodical part

1.1 Methods of preparation of twists

Samples are prepared by cutting the wire of the required length and further twisting (Figure 2.1).



Figure 2.1 - Example twist.

The area of the test specimen is 125 mm. Twisting is carried out on the special equipment (Figure 2.2).

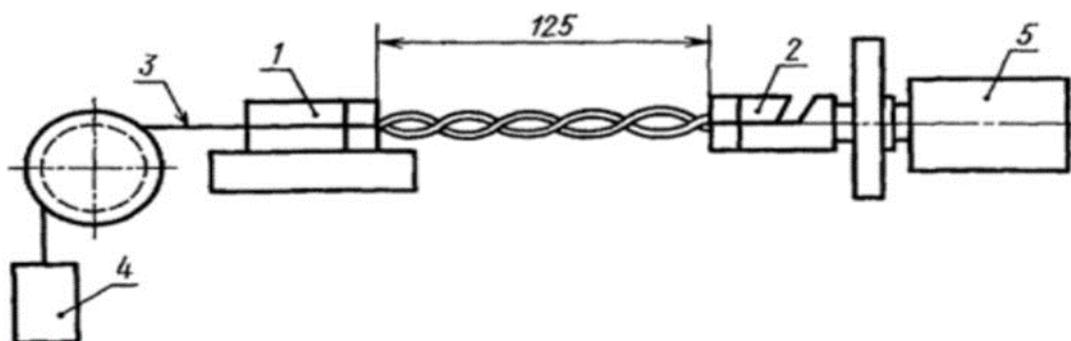


Figure 2.2 - Diagram of the device for twisting the wire:

1 - sliding clamp; 2 - rotating clamp; 3 - sample wire; 4 - cargo; 5 - the electric motor.

This mechanism includes a set of weights that ensure the appropriate tension of the wires when twisting. The tension value of the test wire when twisting should correspond to the load, which provides a weight of 1 kg per 1 mm² of the cross-sectional area of the wire. The maximum deviation of the mass should not be more than 20%. The number of twists depends on the diameter of the wire and it should correspond to that indicated in Table 1.

Table 2.1 - Dependence of the number of twists on the nominal wire diameter

Nominal diameter of wire, mm	Number of twists at a length of 125 mm
0,315-0,53	10
0,55-0,80	9
0,83-1,32	7
1,40-2,12	4
2,24-2,50	3

Both ends of the twisted specimen should be cut and diverted to the opposite sides, from the other end of the sample, the insulation must be removed.

The order of work:

1. Cut the lengths of the enamel wire of the required length.
2. Set the wire on the special equipment.
3. Twisted the wire samples in the form of standard twisted strands made by the standard (Figure 2.3).



Figure 2.3 - General view of the samples of the enameled wire.

1.2 Procedure for preparing the samples with artificially applied defects

The order of work:

1. Cut the lengths of the enamel wire of the required length.
2. Then the conductor was placed on special equipment for twisting (Figure 2.4).

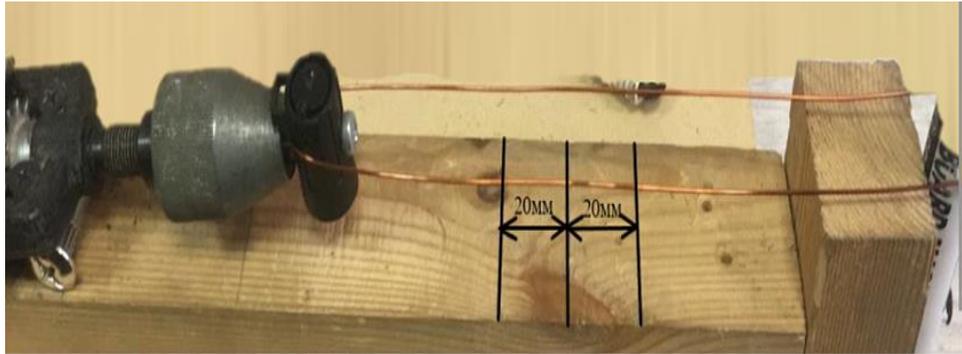


Figure 2.4 - General view of the installation for twisting

3. Defects were made with the help of the blade at the center of the test twist and to the sides to the left and to the right at a distance of 20 mm (Figure 2.4).
4. Next, the conductor was twisted according to the GOST, the test length of twisting is 125mm (Figure 2.5).



Figure 2.5-Sample of the test twist

5. Then we marked the conductor with an artificial defect, cleaned the ends to connect to the electrodes, and cut the opposite side of the twist.

1.3 Methods for determining the corona resistance of enameled wires

Operational loads of electrical machines are the set of various factors arising during the operation phase, including electrical, mechanical and thermal

effects. When considering a VFD with PWM, it is also necessary to take into account the effect of corona discharges.

In order to assess the impact of operational loads, it is necessary to simulate the operating conditions of real windings of electrical machines. Therefore, the developed test equipment must ensure the distribution of the electrical voltages values in the same way as in the windings of VFD with PWM.

The tests are carried out on a laboratory bench. This laboratory bench with a high-frequency unit has the following characteristics: an applied AC voltage with an amplitude of 1200 V, a frequency of 400 Hz with a frequency (modulation) of the 5 kHz voltage slicing (wave front duration), a 4 μ s rising edge slope and a temperature corresponding to the class of heat resistance of enameled winding wire (Figure 2.7).

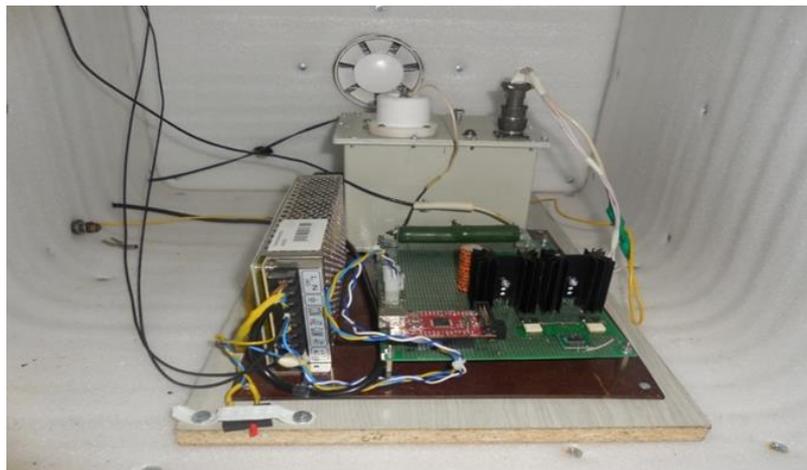


Figure 2.7 - Block for generating high-frequency modulated signals.

Further, according to the procedure, performed in clauses 2.1 and 2.2, the finished samples twisted in accordance with the guest:

1. Place the samples in the oven, Figure 2.8



Figure 2.8 - Oven with the samples

2. We install in the oven the required temperature for the tests (selected depending on the temperature of the heat resistance class) (Figure 2.9), in our case the temperature was 180 ° C.



Figure 2.9 - The control unit of the oven

3. We apply a high-frequency electric signal to the samples.
4. By several tests, we obtain samples with different aging times.

Experimental part

3.1 Objects of the research

In this paper, the objects of the investigation are winding wires of PETD-180, PETD2-K-180 and impregnating composition KP50.

PETD-180.

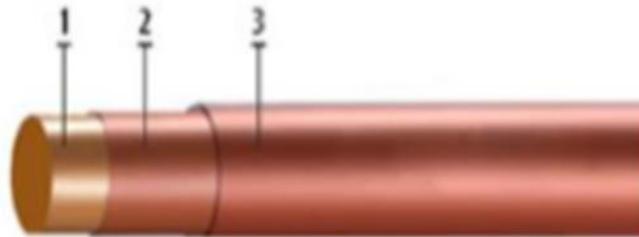


Figure 3.1 - Winding wire of PETD-180 brand

- 1 - copper conductor;
- 2 - insulation made of polyesterimide lacquer;
- 3 - insulation made of polyamide imide lacquer.

Conductor is made of copper round with double-layer insulation of heat-resistant varnish. The conductor is intended for mechanized winding, winding of an electric machine and apparatus, transformers, generators, coils, measuring instruments, communication equipment. Available in a diameter of 0.2-2mm. Since the conductor has good chemical properties, it is used to manufacture equipment for the chemical, gas and oil refining industries. The temperature index is TI-180. It has high mechanical and thermal characteristics. The minimum temperature for operation is minus 60 ° C. The conductor insulation is resistant to deformation at a temperature of 260 ° C, to heat shock at a temperature of 200 ° C. The breakdown voltage of this type of wire, directly of our diameter lies in the range from 4200 to 5000V. The value of the stability of the breakdown voltage (P) is 0.96. Elongation of the wire before the break is not less than 28-30%. The diameter of the insulation is 0.060 mm.

PETD2-K-180.

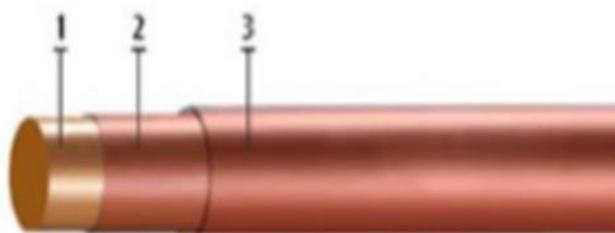


Figure 3.2 - Winding wire brand PETD2-K-180

- 1 - copper conductor with a diameter of 0.2 to 5 mm;
- 2 – the shell of corona-resistant and modified polyesterimide varnish;
- 3 - insulation made of polyamide imide lacquer.

A winding wire contains a conductor core covered with double-layer insulation. In this case, the inner layer is made of enamel polyesterimide crown-resistant, and the outer layer is made of enamel polyamide-imide. It is produced in diameter from 0.2 to 5 mm. It has high mechanical strength. The insulation of the wires is elastic after the action of the temperature $(200 \pm 5) ^\circ \text{C}$ for 30 min and the stand to the push at temperature $(265 \pm 5) ^\circ \text{C}$. The conductor is used in electrical machines, apparatuses, instruments with frequency control, resistant to solvents.

Impregnating composition KP-50.



Figure 3.3 - General view of the compound KP-50 used in the work with the addition of a hardener

In appearance, the compound resembles a homogeneous transparent liquid that does not contain any foreign impurities. Compound is a mixture of polymerisation-free oligomers that do not contain solvents. Preserves reduced fire hazard and toxic secretion. This compound is used for impregnating and pouring windings of electrical machines and devices made in a general climatic design using wires with enamel and fibrous insulation. The drying time of polymerization in a thick layer when mixed with a benzoyl peroxide paste at a temperature of 120 degrees is about 30-60 minutes, in a thin layer with a benzoyl peroxide paste at 120 degrees is approximately 30 minutes.

The compound was mixed with a hardener of benzoyl peroxide (Figure 3.4).



Figure 3.4 - Benzoyl peroxide paste

Pasta is a thick white mixture without any shades, in percentage of mixing with the compound is 3-5% of the mass of the compound, after mixing, the storage time of the compound and hardener is reduced by several times.

2.2 Impregnation of twisted strands with artificially applied defects

Impregnation of twists with artificially inflicted defects is carried out in 3 stages:

1. Preliminary drying of samples;
2. Impregnation of samples;
3. Drying of the impregnated samples.

The drying of the samples was carried out in a GPP-20-SPU oven (Figure 3.5).



Figure 3.5 - Medical air sterilizer GP-20-SPU

This oven provides:

1. Uniform temperature distribution throughout the entire volume, due to air circulation with the help of a fan located on the wall of the oven.
2. Installation and adjustment of temperature modes;
3. Automatic time counter for preset modes;
4. Temperature control in automatic mode directly in the chamber;
5. Run of the program at a specified time (night mode);
6. Setting the rate of temperature rise at 2,5,7 degrees per minute;
7. Digital indication of operating and set temperature.

The following advantages of this sterilizer are:

- Minimum time to enter the operating mode;
- Low power consumption;
- Small size and weight;
- High reliability in work;
- Overheating protection.

The preparation of the impregnating composition was carried out on a CAUW 120D scale (Figure 3.6).



Figure 3.6 - Laboratory analytical balance CAS CAUW-120D

Specifications:

- Electromagnetic compensation;
- when the temperature changes, which affects to the accuracy, the balance automatically calibrates;
- counting items;
- weighing in%;
- comparison mode;
- summation mode;
- the possibility of rounding off the testimony;
- transfer to different units of measurement (24 weighing units);
- Maximum weighing limit: 120/42 g;
- Discreteness of reading: 0.0001 / 0.00001 g;
- maximum weight is 120g;
- The minimum weight is 1 mg.

Impregnation of the samples was carried out in several stages:

1. samples in the form of standard twigs subjected to a preliminary drying were placed in the oven at a temperature of 100 °C for 30 minutes;
2. Further after the preliminary drying, the samples were taken out of the oven and, by means of a pre-prepared impregnating composition, each coil was

impregnated by the method of irrigation until the entire working surface was covered with a compound. Further, the sample was suspended on a grid (Fig. 3.7);



Figure 3.7 - General view of samples after impregnation

3. After all the samples were spilled by the impregnating compound they were placed in the oven (Figure 3.8)



Figure 3.8 –Oven with the sample

4. The drying regime was set, at the end of the drying the samples were allowed to cool to the room temperature, since we were impregnated twice with the same method for the second time, placed in the oven, and drying was carried out in the same regime.

2.3 Determination of the mean time to breakdown of samples of the enameled wire under the action of modulated voltage

Determination of the resistance to operational loads was carried out according to the procedure described in clauses 2.2-2.4. The experiments were carried out at a pulsed voltage and temperature equal to the heat resistance class of the wire. At least 10 samples of wires were tested for each brand.

Table 3.1 - Average time to breakdown of interturn isolation of windings without artificially applied defects, at different temperatures

Wire Mark	Temperature, °C	Mean time to breakdown, tp.sr., min.
PETD-180	20	140,4
PETD-180	180	30,3

To test the test procedure, the average time to breakdown was estimated by connecting a defective sample to the phase and to the zero, the time was recorded using an electronic time counter. The results are shown in Figure 3.9, in Table 3.2 and in Annex 1.

Table 3.2 - Average time to breakdown of interturn insulation of windings

Make	Impregnating compound	Mean time to breakdown, tp.sr., min .
PETD-180 (phase (d) -nol)	-	22,34
PETD-180 (zero (d) phase)	-	20,21
PETD2-K-180 (phase (d) -nol)	KП-50	111,01
PETD2-K-180 (zero (d) phase)	KП-50	111,74

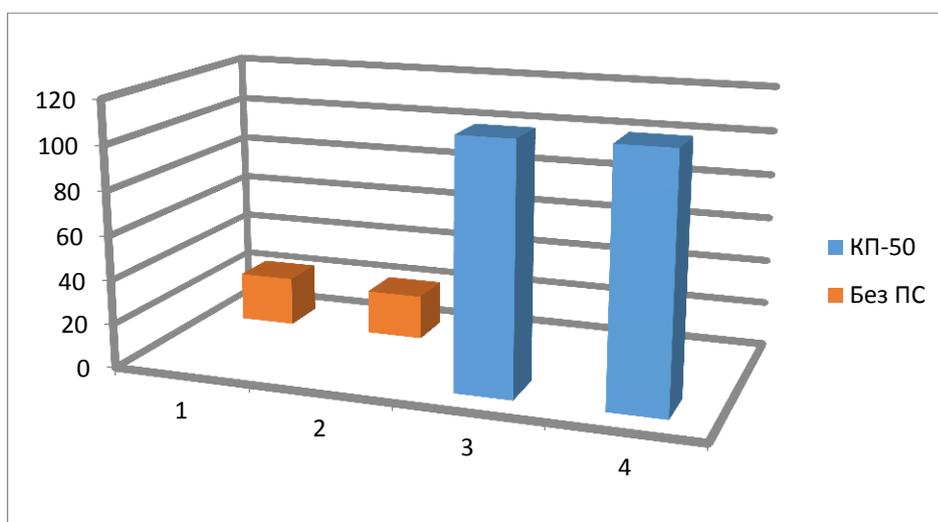


Figure 3.9 - Results of mean time determination before breakdown of interturn isolation samples

1 - PETD-180 (phase (e) -nol); 2 - PETD-180 (zero (d) -phase);

3 - PETD2-K-180 (phase (e) -nol); 4 - PETD2-K-180 (zero (d) phase).

2.4 Discussion of the results

Based on the results obtained, the following conclusions can be drawn:

1. Thus, the effect of temperature is of great importance for the average time to breakdown of insulation is related to the acceleration of the process of thermal aging in insulating materials because of the appearance in them of a number of processes that affect the property of the material. The whole series of the processes is due primarily to the chemical composition and operation of insulation in a thermal field, which can be different. This is connected with the fact that solid insulation materials exhibit meltdown when working at high temperatures, which drastically reduces the mechanical strength, which leads to the cracks in the case of cyclic temperature changes. All these processes are not reversible.

2. The effect on the mean time to breakdown in the presence of an artificially applied annular defect also showed a significant decrease in the time to breakdown. This is explained by the fact that corona discharges arising from overvoltages in places of artificially inflicted defects lead to an accelerated

destruction of the insulation located on a nearby turn. This is confirmed by tests because the breakdown of the insulation was in places where defects were caused.

3. Using impregnating composition on samples with artificially applied defects, it has been shown that the average time to breakdown is increased in comparison with samples without impregnation, but this does not ensure complete restoration of insulation. According to the results obtained, it can be said that the breakdown in almost all samples occurred in places of defects.

4. In the same work, tests were carried out with a change in the connection of the defective wire to the phase and to the zero. The test results show that the connection is of no importance since the average time to breakdown remains unchanged.