

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

Институт: Энергетический
Направление подготовки: 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра: Электротехнических комплексов и материалов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
ОЦЕНКА СКРЫТИЯ ПРОПИТКОЙ ДЕФЕКТОВ В МЕЖВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ	
УДК 621.3.048	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4В	Паршаков Григорий Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Дудкин Анатолий Николаевич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Романцов Игорь Иванович	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев Александр Георгиевич	д.т.н., профессор		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Знать и владеть методами решения научных и производственных проблем работодателя.
P2	Уметь использовать современное научное и технологическое оборудование для решения проблем предприятия.
P3	Владеть пакетом программ по компьютерному моделированию кабельных изделий, электроизоляционных систем и наноматериалов.
P4	Владеть практическими навыками проектирования, монтажа и эксплуатации кабельных линий.
P5	Владеть основами маркетинга в кабельной отрасли.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P6	Обладать способностью формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
P7	Обладать способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
P9	Обладать способностью использовать иностранный язык в профессиональной сфере
P10	Обладать способностью использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности

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

Институт – Энергетический
 Направление подготовки (специальность) 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Кафедра - «Электромеханические комплексы и материалы»

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ЭКМ
 _____ Гарганеев А.Г.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4В	Паршакову Григорию Сергеевичу

Тема работы:

ОЦЕНКА СКРЫТИЯ ПРОПИТКОЙ ДЕФЕКТОВ В МЕЖВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является система межвитковой изоляции асинхронного электродвигателя; оценка скрытия (залечивания) пропиткой дефектов.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки и техники в области качественного «залечивания» дефектов в системах низковольтной межвитковой изоляции. Постановка задачи исследования: оценка степени «залечивания» дефектов в низковольтных системах изоляции с использованием разных компонентов, входящих в эти системы. Обсуждение результатов выполненной работы.

	Дополнительные разделы: Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Социальная ответственность. заключение по работе.
Перечень графического материала	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность.	Романцов Иван Григорьевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор, введение, заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03.16
---	-----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Дудкин Анатолий Николаевич	к.т.н., доцент		14.03.16

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4В	Паршаков Григорий Сергеевич		14.03.16

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4В	Паршакову Григорию Сергеевичу.

Институт	ЭНИН	Кафедра	Электротехнические комплексы и материалы
Уровень образования	Магистр	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: Обмоточные 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. Инновационный потенциал проекта заключается в возможности использования короностойких обмоточных проводов.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Разработка устава не требуется.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определен бюджет проекта и его риски. Составлена смета затрат научно-исследовательской работы.
4. Определение ресурсной эффективности	Оценка целесообразности проекта при условии использования короностойкого провода марки ПЭТД2-К-180 вместо провода марки ПЭТД-180 показывает, что замена провода сокращает финансовые затраты на 18% при условии наличия резервного двигателя.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта;
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
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко А. А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4В	Паршаков Г.С.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4В	Паршакову Григорию Сергеевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	Электротехнические комплексы и материалы
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<i>1. Описание рабочего места</i>	<p><i>1 Комбинированно учебно-лабораторный стенд для проведения высоковольтных и высокочастотных испытаний изоляции обмоточных проводов и систем изоляции обмотки на стойкость к действию коронных разрядов.</i></p> <p><i>1) Проявление вредных факторов производственной среды: выделение озона, шум, влияние микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны;</i></p> <p><i>2) Проявление опасных факторов производственной среды: поражение электрическим током, термический ожог.</i></p>
<i>1. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	<p><i>1 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.</i></p> <p><i>2 ГН 2.2.5.1313. – 03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. Минздрав России, 1998.</i></p> <p><i>3 Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96. "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений"</i></p> <p><i>4 СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.</i></p> <p><i>5 ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.</i></p> <p><i>6 ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.</i></p> <p><i>7 ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</i></p> <p><i>8 ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.</i></p> <p><i>9 ГОСТ 12.1.030-81. Защитное заземление,</i></p>

	<p>зануление. 10 ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. 11 СНиП 21–01–97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – с.12. 12 Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. №69-ФЗ. О пожарной безопасности. 13 СП 52.13330.2011. «Свод правил. Естественное и искусственное освещение». - М.: Минрегион РФ, 2010. 14 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003. 15 НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной безопасности», ГУГПС МВД РФ, 1995.</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	Физико-химические факторы: 1 выделение озона; 2 шум; 3 микроклимат; 3 освещение.
1 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности	Электробезопасность: поражение электрическим током. Термические опасности: термический ожог. Пожаровзрывобезопасность: неисправность учебно-лабораторного стенда.
2 Охрана окружающей среды:	Влияние на окружающую среду отсутствует.
3 Защита в чрезвычайных ситуациях:	Возникновение чрезвычайных ситуаций отсутствует
4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Окраска помещения в нейтральные тона (СанПиН 2.1.2.2631– 10. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения)
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	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 кафедры ЭБЖ	Романцов И.И.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4В	Паршаков Г.С.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 95 с., 22 рис., 22 табл., 33 источника, 1 прил.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, обмотка, дефектность, пропитка, частотно-регулируемый привод, широтно-импульсная модуляция, поверхностные (коронные) разряды, короностойкость, межвитковая изоляция.

Объектом исследования: эмалированный обмоточный провод (ПЭТД2-К-180), пропитывающие составы (КП-50, КП-55-5).

Цель работы: оценить эффективность скрывания (залечивания) пропиткой дефектов в системе межвитковой изоляции.

В работе проводились исследования эффективности «залечивания» сквозных повреждений в витковой изоляции пропиточными с учетом новых условий эксплуатации.

В результате исследования было выявлено, что в качестве пропитывающего состава, который обеспечит наибольшее эффективное «залечивания» дефектов в межвитковой изоляции обмотки, рекомендуется использовать компаунд КП- 55-5 и КП-50.

Область применения: электротехника, электрические машины, электромашиностроительные предприятия.

Экономическая эффективность значимость работы: в настоящее время оценить экономический эффект не представляется возможным, так как он проявляется, прежде всего, у потребителя в течение длительной безаварийной эксплуатации электрооборудования.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	11
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	13
1.1 Факторы воздействующие на систему межвитковой изоляции электрических машин и аппаратов.....	13
1.1.1 Влияние температуры.....	14
1.1.2 Влияние механических нагрузок	14
1.1.3 Воздействие окружающей среды	16
1.1.4 Влияние электрического поля	17
1.2 Электроизоляционные материалы, применяемые в качестве компонентов низковольтной изоляции обмоток	18
1.3 Особенности эксплуатации двигателей в составе частотно-регулируемого привода на базе широтно-импульсной модуляции.....	25
ВЫВОДЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	29
ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	30
2.1 Объекты исследования	30
2.2 Подготовка образцов для испытания	30
2.2 Пропитка испытуемых образцов.	32
2.3 Методика испытаний	32
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	Ошибка! Закладка не определена.
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	Ошибка! Закладка не определена.
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	34
4.1. Маркетинг проекта.....	34
4.2. Оценка конкурентоспособности.....	38
4.3. SWOT – анализ	41
4.4. Планирование и бюджет проекта	42
4.5. Смета расходов	46
4.6. Риски проекта	48
4.7. Эффективность замены обмоточного провода	51
4.8. Выводы по главе:.....	54

Глава 5. Социальная ответственность	Ошибка! Закладка не определена.
5.1. Анализ вредных производственных факторов.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.2 Анализ опасных производственных факторов.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.3 Требования пожарной безопасности....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4 Вывод по главе	Ошибка! Закладка не определена.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение А.....	Ошибка! Закладка не определена.

ВВЕДЕНИЕ

На долю асинхронных двигателей приходится от 40 до 70% всей потребляемой электроэнергии, которая преобразуется в механическую энергию поступательного или вращательного движения. В связи с этим к электрическим машинам предъявляются требования увеличения срока службы.

Основной причиной выхода из строя является отказ системы изоляции обмоток низковольтных электрических машин, а именно межвитковой изоляции. Причиной отказа являются сквозные повреждения (дефекты).

Сквозные повреждения в изоляции обмоточного провода могут существовать в состоянии поставки, а так же образоваться во время производства обмоток (трещины, проколы, сдиры, отслаивания эмали, продавливания) и возникать в процессе эксплуатации электродвигателя.

Для количественной оценки поврежденности изоляции принято использовать дефектность λ [1/мм], которая определяет количество дефектов на единицу длины обмоточного провода [1].

Одним из способов устранения технологических дефектов с целью повышения надежности межвитковой изоляции и предотвращения преждевременного отказа электродвигателя является качественная пропитка обмоток.

Повышенные требования к современным приводным системам привели к значительному развитию технологии регулируемых электроприводов. В современных регулируемых электроприводах для генерации выходного напряжения, используются полупроводниковые ключи. Ключи работают при высокой скорости перехода из открытого состояния в закрытое, что является следствием резких скачков напряжения и возникновения нового условия старения изоляции, имеющий электротепловой характер.

На сегодняшний день в литературе недостаточно информации об эффективности скрyтия пропиткой сквозных повреждений межвитковой изоляции обмоток низковольтных асинхронных двигателей в составе частотно-регулируемого привода (ЧРП) на базе широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Следовательно, появляется необходимость в оценке степени «залечивания» низковольтной системы изоляции с использованием различных компонентов (обмоточный провод, пропитывающие составы)

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Факторы воздействующие на систему межвитковой изоляции электрических машин и аппаратов

Самым слабым элементом низковольтной электрической машины является система межвитковой изоляции. Критерием отказа является сквозное повреждение (дефект), в месте которого возможно короткое замыкание. Таким образом, чем большее количество повреждений, тем выше вероятность отказа электрической машины.

Различают два типа дефектов в изоляции: зависимые и независимые. Зависимые дефекты считаются опасными и прорастают одновременно в композиции « изоляция провода – пропиточный состав – изоляция провода», Независимые дефекты – это дефекты, которые возникают в изоляции только у одного из соприкасающихся проводников. Они не приводят к отказу изоляции, потому что рабочее напряжение низковольтной машины ниже пробивного напряжения даже состаренной низковольтной изоляции (рис.1) [2].

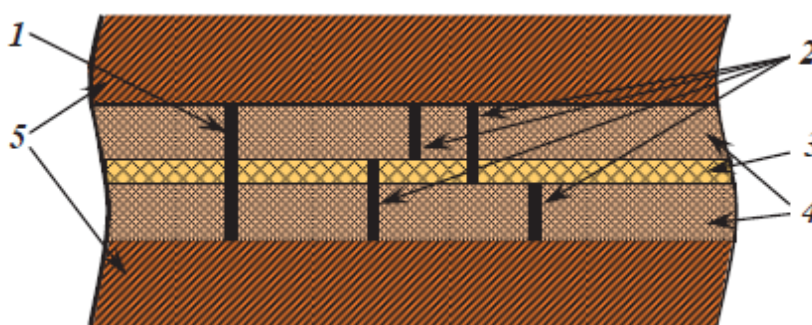


Рис.1. Возможные дефекты в системе межвитковой изоляции: 1- дефект зависимый; 2 – дефекты независимые; 3; пропиточный состав; 4 изоляция провода; 5 – медь провода

В процессе изготовления обмоток на изоляцию проводов действует ряд механических нагрузок: растяжение, сжатие, изгибы и другие нагрузки. В результате этих воздействий в изоляции могут возникать локальные повреждения, которые значительно снижают электрическую прочность.

Характер повреждений при этом может быть различным: точечные дефекты, трещины, продавливания и сдиры изоляции.

В период эксплуатации электрической машины причиной возникновения повреждений изоляции связано с воздействиями тепловых, электрических, механических и атмосферных нагрузок.

1.1.1 Влияние температуры

Одним из факторов, который негативно действует на межвитковую изоляцию, является температура. Именно при длительном нагреве обмотки реализуется тепловое старение системы изоляции. Разогрев изоляции происходит в основном за счет активных потерь в меди и магнитных потерь в стали сердечника, а также диэлектрических потерь в изоляционной системе.

В процессе проектирования системы изоляции электроизоляционные материалы выбираются таким образом, чтобы воздействие температуры не привело к отказу в течение требуемого времени. В большинстве случаев мощность электрических машин определяется допустимой температурой нагрева, которая ограничивается в основном тепловым старением изоляции.

Вследствие малой теплопроводности изоляционных материалов, изоляция обмоток является основным тепловым сопротивлением при отводе тепла от меди в окружающую среду.

Особенно малой теплопроводностью обладает газовые промежутки. Тепловое сопротивление изоляции зависит от коэффициента теплопроводности и толщины изоляции.

1.1.2 Влияние механических нагрузок

Механические усилия, воздействию которых подвержены обмотки вращающихся машин, в основном являются следствием центробежных сил, пусковых токов, вибрации, тепловых ударов и механических сотрясений. Также эти нагрузки возникают еще с момента изготовления обмоток, а так же их

транспортировки: различные изгибы, надрывы, растяжения и др. Механическая надежность вращающихся электрических машин определяется их конструкцией и качеством изготовления. Роторные обмотки и катушки обмотки возбуждения полюсных машин подвергаются действию радиально и тангенциально направленных сил вращения, обуславливающих величину возникающих напряжений сжатия, среза и растяжения.

При эксплуатации электродвигателей происходит вибрация корпуса и обмоток двигателя от небаланса ротора, выработки подшипников и т. д. В начальный период эксплуатации вибрация электродвигателей существенно не сказывается на надежности обмоток, так как пропиточный лак цементирует обмотку. В дальнейшем с изменением механических свойств изоляционных материалов и пропиточных лаков вследствие теплового старения влияние вибрации на надежность изоляции обмотки и выводных проводов становится все более ощутимым.

Особенно большие механические напряжения возникают в жестко связанных системах со значительно отличающимися коэффициентами теплового расширения.

Также постоянной механической нагрузкой, действующей на межвитковую изоляцию, являются внутренние механические напряжения. После пропитки и последующей термообработки происходит удаление растворителя из объема пропиточного состава, полимеризация, что обуславливает изменение его объема. Усадка полимера служит одной из причин возникновения внутренних механических напряжений. В процессе теплового старения происходит удаление летучих компонентов полимера, дополнительная сшивка макромолекул, в результате чего увеличивается жесткость пропиточного состава, и уровень внутренних механических напряжений существенно возрастает.

1.1.3 Воздействие окружающей среды

Часто повреждения изоляции являются следствием взаимодействия ее с окружающей средой. Основные воздействия окружающей среды выражаются в таких факторах как влага, пыль, солнце, агрессивные среды, высота над уровнем моря.

При работах на высотах более 1000 м над уровнем моря необходимо снижать номинальную нагрузку. В этом случае из-за уменьшения плотности воздуха уменьшается количество частиц в единицу объема обеспечиваемых теплоотвод от обмотки в окружающую среду. Следовательно, для избежание перегрева изоляции следует снижать номинальную нагрузку, либо применять более нагревостойкие материалы.

В наиболее тяжелых условиях находится изоляция, подверженная атмосферным влияниям и, в частности, действию влаги, которое зависит от температуры окружающей среды.

Наличие влаги в порах значительно уменьшает механическую и электрическую прочность изоляции, усиливает влияние ионизационных явлений, ускоряет химическое старение некоторых материалов, увеличивает диэлектрические потери, чем сокращается срок службы и повышается аварийность электрооборудования. Особенно опасна влага, когда она сочетается с загрязнением поверхности изоляции или с химически активными и проводящими веществами, обычно отходами промышленных газов [3].

Запыленность атмосферы может вызвать эрозию изоляции из-за ударов абразивных частиц. Эрозия выражена наиболее сильно в местах, где воздушный поток имеет наибольшую скорость.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что при проектировании системы изоляции электрических машин необходимо учитывать все воздействующие факторы и нагрузки, но главными факторами, влияющими на

долговечность системы изоляции низковольтных двигателей, являются температура и механические воздействия. Однако, при проектировании системы изоляции электрических машин, используемых в частотно-регулируемом электроприводе, необходимо также обращать внимание на электрические нагрузки и применять изоляционные материалы, которые могут обеспечивать необходимую долговечность в заданных условиях работы.

1.1.4 Влияние электрического поля

Нагрев изоляции, вызванный наличием электрического поля при номинальном напряжении, несуществен. Большая опасность возникает при перенапряжениях, особенно на состаренную изоляцию.

В связи с тем, что в низковольтных системах изоляции величина рабочего напряжения намного ниже напряжения начала ионизации, электрическим старением ранее пренебрегали [1].

Воздействие электрических нагрузок учитывается в двигателях, которые используются в частотно-регулируемых электроприводах на базе широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В этом случае электрические нагрузки обусловлены использованием современных преобразователей частоты, изготовленных на основе силовых схем с IGBT-транзисторами. Их отличительная особенность высокая скорость переключения ключей транзисторов из открытого состояния в закрытое и наоборот. Это приводит к возникновению скачков перенапряжений, которые могут превышать номинальные значения питающего напряжения в 5 – 10 раз. Подобные нагрузки приводят к ужесточению межвитковой изоляции и существенному сокращению срока службы электрической машины [4, 5].

1.2 Электроизоляционные материалы, применяемые в качестве компонентов низковольтной изоляции обмоток

При изготовлении обмоток электрических машин применяются медные изолированные провода. Их можно разделить в зависимости от характера изоляционного покрытия на две группы:

- провода с эмалевой изоляцией;
- провода с волокнистой и эмаль-волокнистой изоляцией.

Наиболее широкое применение находят провода с эмалевой изоляцией.

По сравнению с волокнистой изоляцией эмалевая изоляция имеет меньшую толщину, что позволяет повысить коэффициент заполнения паза проводниковым материалом на 5-7 процентов и повысить эквивалентный коэффициент теплопроводности обмоток. Эмалевая изоляция имеет также более высокую электрическую прочность и влагостойкость. Провода с эмалевой изоляцией более технологичны, особенно при автоматизированной намотке обмоток.

Для систем изоляции класса нагревостойкости А применяются провода марок ПЭВ-1, ПЭВ-2. Они изолированы лаком ВЛ-931 (на поливинилацеталевой основе) и имеют температурный индекс (ТИ) 105°C. Названные марки проводов различаются толщиной изоляции. Провод марки ПЭВ-1 имеет уменьшенную толщину изоляции. Различной толщиной изоляции этих проводов объясняется и различие ряда физико-механических характеристик их. Пробивное напряжение, стойкость к тепловому удару, эластичность изоляции проводов марки ПЭВ-2 несколько выше, чем проводов марки ПЭВ-1, В целом изоляция этих проводов обладает высокой механической прочностью, устойчивостью к действию тепловых ударов,

влагостойка, но недостаточно устойчива к действию органических растворителей и ряда других химически активных веществ.

Довольно большое распространение получили провода марки ПЭТВ - провода эмалированные теплостойкие высокопрочные с изоляцией на основе полиэфиров. Они имеют ТИ 130°С. Выпускаются несколько марок этих проводов: ПЭТВ-939 (изоляция на основе полиэфирного лака 939), ПЭТВ-943 (лак 943), ПЭТВ-ТС (изоляция из расплава смолы). К недостаткам проводов ПЭТВ относятся пониженная (по сравнению с проводами ПЭВ) стойкость к тепловому удару, а также снижение нагревостойкости и химостойкости (к воздействию растворителей) при растяжении проводов.

Также широкое применение находят марки таких проводов как ПЭТ- 155, ПЭТ-М (для механизированной намотки обмоток), ПЭФ-155, ПЭФ-155к. Эти марки проводов имеют ТИ 155°С. Провода марок ПЭТ эмалируются полиэфиримидным лаком. Изоляция их имеет такую же толщину, что и изоляция проводов ПЭТВ, а также близкие ей электрические и механические характеристики. Но по сравнению с проводами ПЭТВ провода ПЭТ-155 обладают большей стойкостью к тепловым ударам и большей стойкостью к воздействию растворителей.

Провода марок ПЭФ-155 и ПЭФ-155 к изолируются высокопрочным лаком на полиэфирциануратимидной основе, являются фреоностойкими (об этом говорит буква “Ф” в названии марки) и предназначены для механизированной намотки обмоток электродвигателей компрессоров и бытовых холодильников.

Провод ПЭТ-180 применяется для изготовления обмоток температурного класса "Н": двигателей и сухих трансформаторов электрооборудования для промышленного и бытового применения, генераторов, измерительных приборов, катушек, реле, аппаратуры связи. Провод изолируется двухслойной изоляцией, первый слой на основе полиэфиримидного лака, второй слой на основе полиамидимидного лака

К более нагревостойким проводам можно отнести эмалированные провода марки ПЭТ-200. Они эмалируются полиамидимидным лаком и имеют ТИ 200°C. Эти провода по сравнению с проводами марки ПЭТ-155 имеют пониженную стойкость к растяжению и худшую адгезию эмалевой пленки к меди. Последний фактор является причиной трудного обеспечения совместности этого провода с пропиточными составами.

Те провода, что эмалируются лаками на полиамидной основе, обеспечивают ТИ их изоляции 220°C. Такие провода в нашей стране выпускаются двух марок - ПЭТимид и ПНЭТимид. У проводов марки ПНЭТимид медная проволока покрыта никелем для защиты её от окисления и это позволяет использовать этот провод для изготовления обмоток, рабочая температура которых достигает 300°C (при ограниченном сроке службы). Изоляция проводов ПЭТимид и ПНЭТимид отличается хорошей эластичностью и высокой стойкостью к тепловым ударам, устойчива к действию растворителей и агрессивных сред, устойчива к воздействию радиации. Недостаток - пониженная механическая прочность.

Обмоточные провода марки ПЭТД2-К-180 содержат токопроводящую жилу, которая покрыта двухслойной изоляцией, при этом внутренний слой выполнен из тригидроксиэтилциануратного лака, содержащего не менее 0,1 об.% наночастиц оксида кремния, а внешний слой выполнен из полиамидимидного лака [6].

Изготавливаются диаметром от 0,2-5 мм. Обладают высокой механической прочностью. Изоляция проводов эластична после действия температуры $(200\pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 30 мин и стойка к продавливанию при температуре $(265\pm 5)^\circ\text{C}$.

Пропиточные составы предназначены для пропитки обмоток. В результате пропитки воздушные включения и пустоты в обмотках и изоляции частично или полностью заполняются пропитывающими составами, что делает изоляционную систему более монолитной и устойчивой к воздействию эксплуатационных нагрузок и окружающей среды. Основное назначение про-

питки является: цементация витков и повышение механической прочности системы изоляции; повышение электрической прочности изоляции; повышение влагостойкости и химостойкости изоляции; замедление термоокислительного старения основной изоляции; повышение теплопроводности систем изоляции обмоток.

Электроизоляционные пропиточные составы делятся на лаки и компаунды. Лаки состоят из пленкообразующих веществ (основы) и растворителей. Компаунды представляют собой пропиточные составы без растворителей. В процессе термообработки или в результате реакций окисления полимеризации, поликонденсации пропиточные составы образуют электроизоляционные пленки.

Все требования, предъявляемые к пропиточным составам, обусловлены назначением пропитки и технологией пропитки. Основными требованиями являются:

1. Пропиточные составы должны обладать хорошей смачивающей способностью и в момент пропитки иметь малую вязкость, чтобы лучше заполнить имеющиеся поры в изоляции.
2. В пропиточных составах должно быть по возможности больше лаковой основы.
3. Пропиточные составы должны хорошо затвердевать в обмотках, просыхать в тонких и толстых слоях. После отверждения они не должны размягчаться при нагревании.
4. Пропиточные составы должны обладать хорошей адгезионной способностью и хорошо цементировать витки обмотки и слои изоляции. Но при этом пленка пропиточного состава должна быть достаточно эластичной, допускать расширение и сжатие обмоток при колебании температуры и слабую вибрацию проводников без нарушения структурной однородности изоляционной системы.
5. Пропиточные составы не должны оказывать вредного воздействия на изоляцию обморочных проводов, обеспечивать высокие электрические

характеристики систем изоляции в процессе эксплуатации при воздействии влаги и других сред.

- б. Пропиточные лаки могут быть подразделены по химическому составу лаковой основы на маслосодержащие, смоляные и кремнийорганические.

Масляно-алкидные лаки применяются в основном для пропитки обмоток с рабочей температурой до 130°C, в том числе и для машин химостойкого и тропического исполнения. Плёнки этих лаков обладают стойкостью к действию минеральных масел, дугостойкостью, длительное время сохраняют эластичность в процессе теплового старения.

К масляно-алкидным пропиточным лакам относятся лаки ГФ-95; МЛ-92; МГМ-8; ФЛ-98; ФА-97.

Лак ГФ-95 по сравнению с масляно-битумными высыхает при более высокой температуре (130-140°C) и требует более длительного времени сушки. Плёнка лака стойка к действию минеральных масел и химических реагентов. Недостатками лака являются непросыхаемость в толстых слоях, недостаточная цементирующая способность, низкая влагостойкость.

Лак МЛ-92 получают добавлением к лаку ГФ-95 около 16 % меламинаформальдегидной смолы. Растворителями лака служат ксилол, толуол или их смесь с бензином. Лак МЛ-92 образует влаго- и маслостойкие плёнки с хорошими диэлектрическими свойствами. Он просыхает в толстом слое и обладает повышенной цементирующей способностью по сравнению с лаком ГФ-95. Недостатком лака МЛ-92 является неустойчивость к плесневым грибкам.

Лак МГМ-8 получают добавлением к лаку ГФ-95 восьми процентов меламинаформальдегидной смолы. Растворителями служат те же вещества, что и для лака МЛ-92. Лак МГМ-8 в сравнении с МЛ-92 высыхает за более продолжительное время, но образует более эластичную пленку.

Лаки МЛ-92 и МГМ-8 применяются для пропитки обмоток электрических машин общепромышленного, влагостойкого, тропического и химостойкого исполнений.

Лаки МЛ-98 и ФА-97 - это алкидно-фенольные лаки. Они отличаются высокой цементирующей способностью, хорошей термоэластичностью, влаго- и тропикостойкостью. Эти лаки обладают высоким содержанием нелетучих веществ при сравнительно малой вязкости, что обеспечивает хорошую заполненность обмотки пропитывающим составом. Лаки ФЛ-98 и ФА-97 отверждаются в толстом слое при температуре 120-130°C в течение 16 часов, в тонком слое - в течение 2 часов. Недостатком этих лаков является повышенная текучесть в процессе сушки, что может привести к вытеканию их из обмотки.

Из пропиточных смоляных лаков наиболее широкое применение находят полиэфирноэпоксидные (ПЭ-933) и полиэфироизоциануратные (ПЭ-993, ПЭ-9132) лаки. Лак ПЭ-933 представляет собой продукт соконденсации полиэфирных и эпоксидных смол. Растворителем служит смесь этилцеллозоль-ва и толуола. Лак обладает высокой цементирующей способностью, влаго- и тропикостойкостью. Сушка лака ступенчатая: 2-4 часа при температуре 110-120°C, затем 4-8 часов при температуре 160°C. Применяется лак ПЭ-933 для пропитки обмоток с рабочей температурой до 155°C.

Полиэфироизоциануратные лаки получают путем совмещения растворов полиэфиров и изоциануратов. Эти лаки обладают ускоренным временем сушки по сравнению с лаками класса нагревостойкости В. Они достаточно хорошо просыхают при температуре 130°C, что позволяет использовать их для пропитки обмоток с системами изоляции класса нагревостойкости В. Температурный индекс полиэфироизоциануратных лаков 155°C, они обладают высокой цементирующей способностью и хорошими электрическими характеристиками. Лак ПЭ-9132 несколько лучше по электрическим характеристикам, дешевле и обладает большей цементирующей способностью при рабочей температуре. [3,7]

Кремнийорганические лаки представляют собой растворы полиорганосилоксановых смол в органических растворителях (ксилол, толуоле). Температурный индекс этих лаков 180°C. Они являются влаго- и водостойкими, обладают высокими электрическими характеристиками, мало изменяющимися

под действием температуры и влаги, короностойкостью. К недостаткам кремнийорганических лаков относятся пониженные значения адгезионных свойств, механической прочности, маслостойкости и химостойкости. Наиболее широкое применение для пропитки обмоток нашли следующие кремнийорганические лаки:

1. Лак КО-916К - для пропитки обмоток с изоляцией класса нагревостойкости Н. Может применяться для двигателей общепромышленного, влагостойкого, тропикостойкого и химостойкого исполнений. Лак требует ступенчатой сушки: 3-4 часа при температуре 120°C и 8-12 часов при температуре 200°C.

2. Лак КО-964 - обладает большей цементирующей способностью по сравнению с КО-916К. Сушка производится при ступенчатом подъеме с выдержкой при температурах 20, 140-150 и 170-180, и 200°C. Продолжительность сушки такая же, как и для лака КО-916К.

3. Лак КО-964Н получается введением в лак КО-964 катализатора, обеспечивающего высыхание лака при температуре 150°C. Это делает возможным использование этого лака для пропитки обмоток с системами изоляции классов нагревостойкости F и H. Лак КО-964Н обладает хорошей совместимостью с проводами марки ПЭТВ, ПЭТ-155. Электрические характеристики этого лака такие же, как и лака КО-964, но в процессе теплового старения и после длительного увлажнения они снижаются больше, чем у лаков КО-964 и КО-916К.

Пропитывающие составы без растворителей (компаунды) обладают рядом преимуществ перед составами с растворителями. Прежде всего, к таким преимуществам относятся отсутствие токсичных и пожароопасных растворителей, хорошая заполняемость свободного пространства обмотки пропиточным составом при однократной пропитки. Для пропитки низковольтных обмоток широкое применение нашли полиэфирные компаунды. Они представляют собой композиции из полиэфиракрилатов (МГФ-1, МГФ-9, МДФ1) и полиэфирных (КП-10, КП-18, КП-23, КП-24),

полиорганосилоксановых (КП-34) или модифицированных эпоксидных (КП-101, КП-103, КП-106, КП-50, КП-55-5) смол с различными добавками.

1.3 Особенности эксплуатации двигателей в составе частотно-регулируемого привода на базе широтно-импульсной модуляции

Не так давно считалось, что температура является основным эксплуатационным фактором, которая ухудшает свойства низковольтной изоляции. Но как упомянуто выше, система изоляции низковольтных электрических машин в составе ЧРП на базе ШИМ испытывает электрическое старение и приводит к постепенному разрушению с мест расположения дефектов из-за возникновения ионизации внутренних и поверхностных воздушных включений. В этом случае на изоляцию действует электротепловой характер старения [8].

Для обеспечения надежности межвитковой изоляции низковольтных двигателей, в случае применения системы частотного управления, обмотку изготавливают из материалов короностойкого исполнения (например, обмоточного короностойкого провода марки ПЭТД2-К-180).

В исследованиях [9] было выявлено, что провод марки ПЭТД2-К-180 при рабочей температуре электродвигателя обладает наибольшей короностойкостью по сравнению с другими испытанными эмалированными проводами (таблица 1).

Таблица 1 - среднее время до пробоя межвитковой изоляции обмоток

Марка провода	Среднее время до пробоя, сек.
ПЭТД-К-180	7140
ПЭТД -180	2337
ПЭТ -155	2985
ПЭЭА-155	684

В структуре изоляции провода ПЭТД2-К-180 имеются нанодобавки в эмалевой изоляции, которые при развитии воздействия коронных разрядов

обладают сильным взаимодействием частиц. При деструкции верхнего слоя материала, наночастицы создают защитный слой, замедляющий процесс пробоя изоляции (рис. 2) [10].



Рисунок 2 – Электрическое старение короностойких проводов

В случае старении обычных проводов коронные разряды вызывают деструкционные процессы материала, которые приводят к разрушению полимерной связи, формированию свободных радикалов и летучих продуктов распада, что в итоге ведет к быстрому пробоя изоляции (рис. 3).

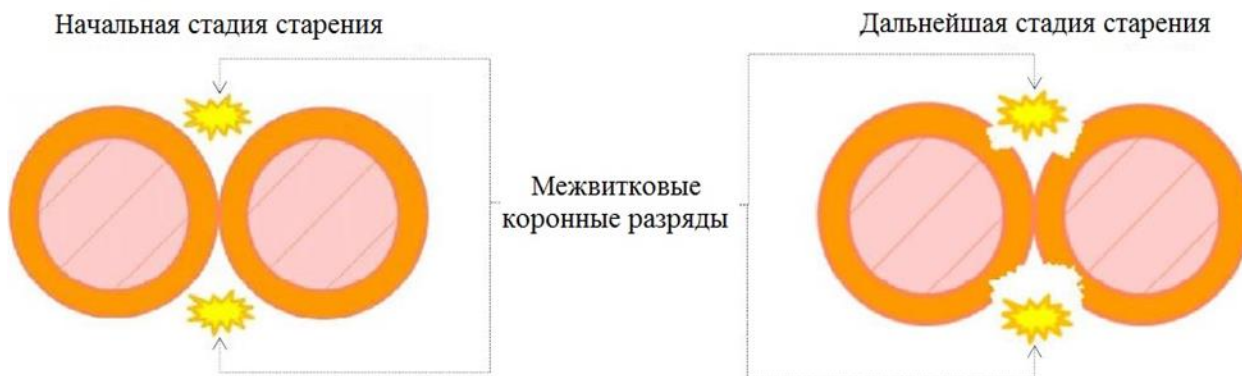


Рисунок 3 – Электрическое старение некороностойких проводов

Образовавшиеся дефекты вследствие технологических воздействий должны «залечиваться» при качественной пропитке. Пропитка дает возможность замедлить процессы теплового старения и увлажнения электроизоляционных материалов, из-за уменьшения площади их соприкосновения с окружающей средой. Вследствие заполнения пор и капилляров обмотки пропитывающим составом, который имеет электрическую прочность выше, чем воздух, повышается электрическая прочность изоляции.

Так же пропитка имеет хорошую теплопроводность, выше, чем у воздуха. Цементируя витки обмоток, пропитка увеличивает механическую стойкость к износу изоляции [4].

В работе [2] проводились исследования об эффективности «залечивания» сквозных повреждений после пропитки с учетом новых условий эксплуатации. В качестве пропитывающего состава использовался кремнийорганический электроизоляционный лак КО-916К. Он короностойкий и имеет высокие диэлектрические характеристики.

В качестве объектов исследования применялись образцы в виде скрутки из короностойкого провода ПЭТД2-К-180, выполненный согласно ГОСТ Р МЭК 60851-5-2008.

Испытанию подвергались не пропитанные скрутки с искусственно нанесенными на изоляцию дефектами и двукратно пропитанные короностойким лаком КО-916К.

Образцы помещались в термошкаф, нагретый до температуры 180 °С (класс нагревостойкости эмалированного провода); испытывались высокочастотным модулированным напряжением переменного тока с амплитудой 1200 В частотой 400 Гц, частота модуляции напряжения 5кГц. Эти условия адекватно воспроизводили эксплуатационные воздействия электротеплового характера на межвитковую изоляцию.

Исследования показали, что среднее время до пробоя двукратно пропитанных образцов, с искусственно нанесенными дефектами, практически не отличается от времени до пробоя непропитанных дефектных образцов.

Так же было выявлено, что дефекты, лежащие на смежных, прикасающихся витках обмотки, способствуют образованию короткого замыкания, даже если их расположение на значительно удаленном расстоянии друг от друга (рис.4). Происходит это из-за того, что коронные разряды вызывают перекрытия по поверхности изоляции. Если дефект в изоляции только у одного из соприкасающихся проводников, коронные разряды на

втором неповрежденном витке приводят так же к его ускоренному разрушению (рис.5).

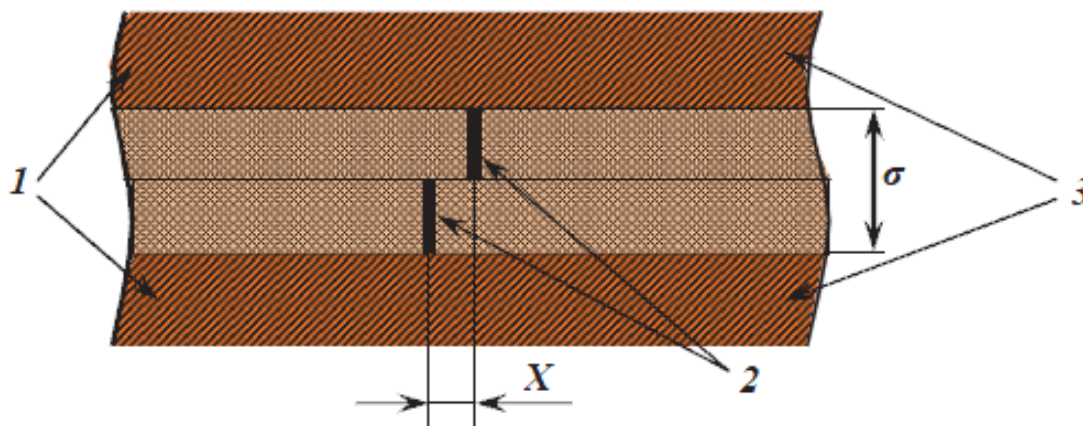


Рис. 4. Схема расположения сквозных повреждений на изоляции смежных витков: 1 – изоляция витков (σ); 2 – сквозное повреждение эмали (X – расстояние между дефектами); 3 – медь провода

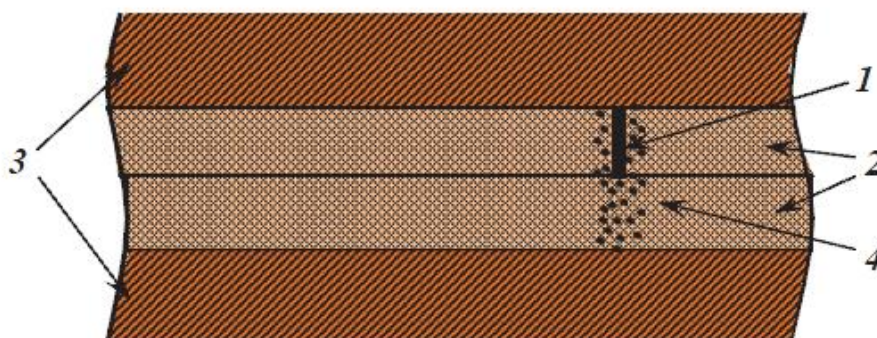


Рис. 5. Физическая модель отказа элемента низковольтной межвитковой изоляции в обмотке ЧРП: 1 – независимый дефект; 2 – изоляция провода; 3 – медь провода; 4 – появление коронных разрядов в месте дефекта и пробоя изоляции

ВЫВОДЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работоспособность электрической машины характеризуется способностью системы межвитковой изоляции противостоять длительное время эксплуатационным воздействиям.

Проведя анализ, позволяет сделать следующие выводы:

1. Межвитковая изоляция является наиболее слабым элементом системы изоляции низковольтных электрических машин.

2. До недавнего времени считалось, что отказ системы низковольтной изоляции происходит, как правило, только при наличии в изоляции сквозного повреждения, которая состоит из двух слоев изоляции провода и пропиточного состава. А наличие дефекта на одном витке не приводит к преждевременному отказу изоляции. Пробивное напряжение возникает лишь на сквозных дефектах, лежащие на смежных, прикасающихся витках обмотки.

3. При применении двигателя в составе ЧРП на базе ШИМ ужесточились эксплуатационные нагрузки, проявляющиеся в виде действия высоких перенапряжений на систему межвитковой изоляции. Действие электротепловых нагрузок при наличии сквозного дефекта в эмалевой изоляции ведет к резкому снижению среднего времени до пробоя. В этом случае короностойкий лак КО-916К, не обеспечивает необходимого «залечивание» сквозных дефектов в эмалевой изоляции. В связи с этим появляется необходимость исследования эффективности скрывания дефектов в системе межвитковой изоляции.

ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Объекты исследования

В качестве объектов исследования выбран эмалированный провод и пропиточные составы следующих марок:

- ПЭТД2-К-180 – эмалированный провод с двухслойной изоляцией на основе ТНЕИС-модифицированных короностойких полиэфиров или ТНЕИС-модифицированных короностойких полиэфиримидов, с по-крытием полиамидимидом. Рабочая температура 180 °С. Предназначен для механизированной намотки, электрических машин, аппаратов, трансформаторов, работающих в среде трансформаторного масла[11].

- КП-50 – пропиточный компаунд, представляющий собой смесь полимеризационноспособных олигомеров с целевыми добавками, не содержащую растворителей. Применяется для пропитки и заливки обмоток электрических машин и аппаратов классов нагревостойкости Р, изготовленных в обще климатическом исполнении с применением проводов с эмалевой и волокнистой изоляцией[12].

- КП-55-5 - пропиточный компаунд, в состав которого входят полиэферы, модифицированные кремнийорганическими смолами, стабилизаторами, пластификаторами и регуляторами адгезии. Имеет пониженную вязкость и увеличенный срок жизни, обеспечивает экологические преимущества по отношению к пропиточным лакам, содержащим органические растворители; рекомендуется для пропитки электрооборудования методом погружения или вакуумнагнетательной пропитки[12].

2.2 Подготовка образцов для испытания

Для изготовления образцов, имитирующих низковольтную обмотку электрической машины, используется короностойкий провод ПЭТД2-К-180. Отрезки провода определенной длины скручиваются с рабочей зоной 125 мм. Скрутка проводится на специальном оборудовании в соответствии с

технической документацией (рис.6) [13]. Дефекты наносились на изоляцию провода в виде кольцевого пореза до токопроводящей жилы.

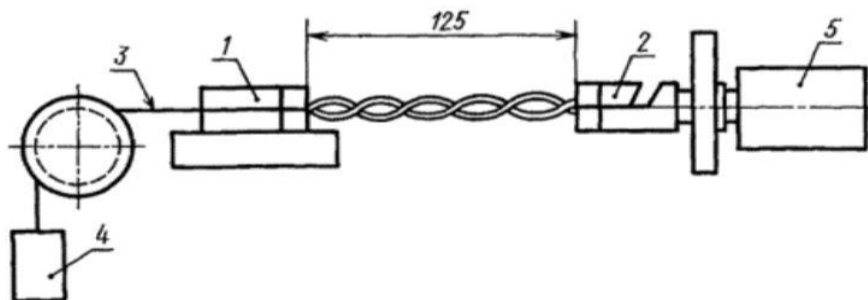


Рисунок 6 – Схема устройства для скрутки провода:

1 – скользящий зажим; 2 – вращающийся зажим; 3 – образец провода; 4 – груз;
5 – электродвигатель

Груз (4) создает необходимое натяжение проводов при их скручивании. Натяжение провода должно соответствовать нагрузке, создаваемое грузом массой 1 кг, приходящимся на 1 мм^2 площади поперечного сечения проволоки. Отклонение массы не более 20%. Число скруток в зависимости от диаметра проволоки указано в таблице 2.

Таблица 2 – 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

Как показано на рис.6 петля на конце скрученного образца должна быть разрезана и разведена в стороны. С противоположной стороны образца на обоих концах должна быть удалена изоляция, таким образом, чтобы длина удаленной части была 10-20 мм.

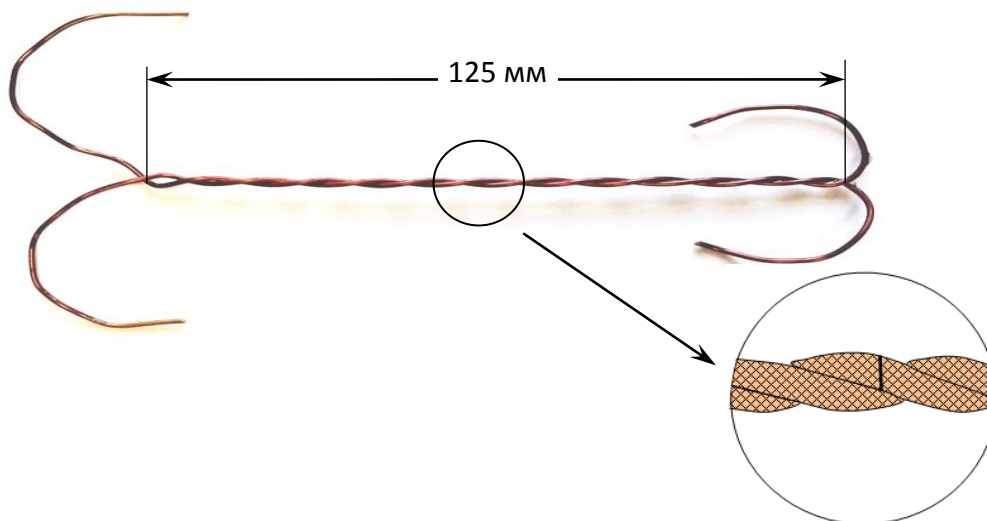


Рис. 7– образец скрутки обмоточного провода

2.2 Пропитка испытуемых образцов.

Пропитка скрученных образцов осуществляется методом погружения. Полимеризация компаунда проводилась при температуре 110-120°C, в течении 6 часов в зависимости от типа компаунда.

2.3 Методика испытаний

При проведении испытаний за основу взята методика, имитирующая перенапряжения, возникающие в обмотках двигателя, работающего в составе ЧРП на базе ШИМ [14], которая позволяет оценить среднее время до пробоя. Схема проведения испытаний представлена на рис. 8.

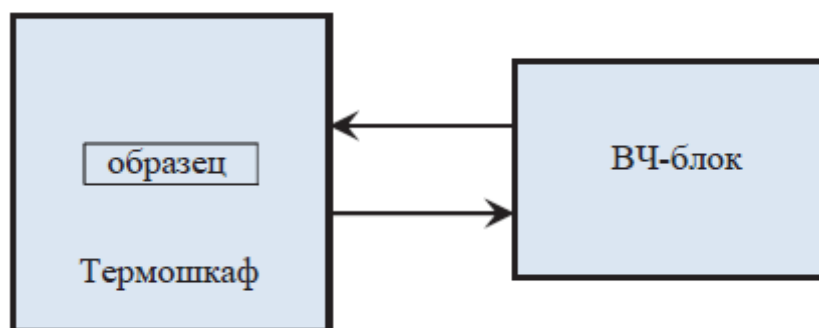


Рис. 8. Схема проведения испытаний на короностойкость системы «пропиточный состав – эмалированный провод»

Испытуемые образцы помещаются в термошкаф, нагретый до температуры, которая соответствует классу нагревостойкости провода (180°C), после на скрутки подается высокочастотное модулированное напряжение переменного тока с амплитудой 1200 В частотой 400 Гц, частота модуляции напряжения 5 кГц. Крутизна нарастания переднего фронта 4 мкс. Эти условия позволяют создать непрерывный коронный разряд по всей рабочей поверхности скрутки, и в сочетании с температурой на межвитковой изоляции образует основные эксплуатационные воздействия. Среднее время до пробоя фиксируется электронным секундомером.

Глава 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, а также фильтров гармоник. 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:

- Провести анализ существующих марок обмоточных проводов и планируемого рынка сбыта.
- Оценить конкурентоспособность инженерного решения.
- Разработать план и график по внедрению короностойких обмоточных проводов, составить смету расходов.
- 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:

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

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

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

2. Размеры рынка сбыта:

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

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

3. Целевые сегменты рынка:

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

б) Характеристика покупателя – предприятия:

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

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 [65]. 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

$$q_i = \frac{P_i}{PБ_i}, \quad (4.1)$$

а если снижение, то

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_i}. \quad (4.2)$$

Расчетные данные занесены в таблицу 4.2.

Таблица 4.1 – Значения основных показателей качества. [66,67]

Показатели	ПЭТД-180	ПЭТД2-К-180
Экономические		
Цена (без НДС), руб/кг	540	590
Потребительские		
Пробивное напряжение, В	6800/4900	8300/4500
/минимально допустимое значение по ТУ, В		
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. [66,67]

Показатели	Марка провода		Ранг	Вес параметра, а	Индекс, q	q* а
	P _i	P _{Bi}				
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_{ni} — для потребительских и a_{zi} — для экономических показателей. Причем

$$\sum_{i=1}^n a_{ni} = \sum_{i=1}^m a_{mi}. \quad (4.3)$$

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:

$$Q_n = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_{ni}, \quad (4.4)$$

$$Q_m = \sum_{i=1}^m q_i \cdot a_{mi} \quad (4.5)$$

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

Вернемся к равенству (4.3). Его соблюдение обеспечивает сопоставимость Q_n и Q_m вне зависимости от количества рассматриваемых критериев.

На шестом этапе рассчитывается интегральный показатель конкурентоспособности (K):

$$K = \frac{Q_n}{Q_m}, \quad (4.6)$$

который в нашем случае равен:

$$K = \frac{1,14}{1,09} = 1,05. \quad (4.7)$$

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.

4.3. 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 [68].

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	Strengths (<i>свойства проекта, дающие преимущества перед другими в отрасли</i>)	Weaknesses (<i>свойства, ослабляющие проект</i>)
	<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	<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.

Продолжение таблицы 4.3

<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>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Низкий уровень входа на рынок. 2. Появление конкурентов. 3. Ухудшение экономической ситуации и уменьшение целевой аудитории. 4. Ужесточение условий сертификации. 	<p>Появление новых конкурентов – гибкая ценовая политика, активная роль маркетинга, репутация, акции. Низкий уровень входа на рынок – возможность участвовать в конференциях, выставках, использовать интернет-ресурсы в целях рекламы. Ужесточение условий сертификации – содействие ТПУ.</p>	<p>Низкая информированность потенциальных потребителей – Низкий уровень входа на рынок. Появление конкурентов – повышенная рыночная стоимость товара. Ухудшение условий поставок – сокращение потенциальных потребителей.</p>

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

4.4. 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.

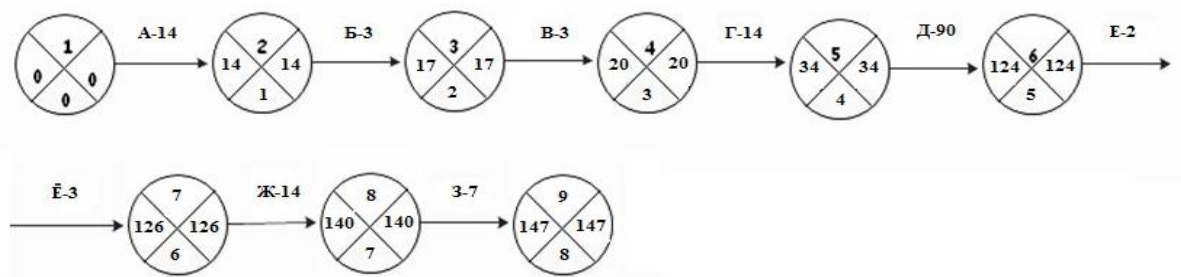


Рис. 4.1 – Сетевой график

Составление диаграммы Ганта

Диаграмма Ганта – горизонтальная линейная диаграмма, на которой работы проекта представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися временными и другими параметрами [15].



Рис. 4.2 – Диаграмма Ганта

Диаграмма денежных ресурсов

Диаграмма денежных ресурсов показывает движение денежных средств во времени. На рисунке 4 срок выполнения работ разбит на 5 платежных периодов, в конце каждого из них происходит выплата заработной платы рабочим.

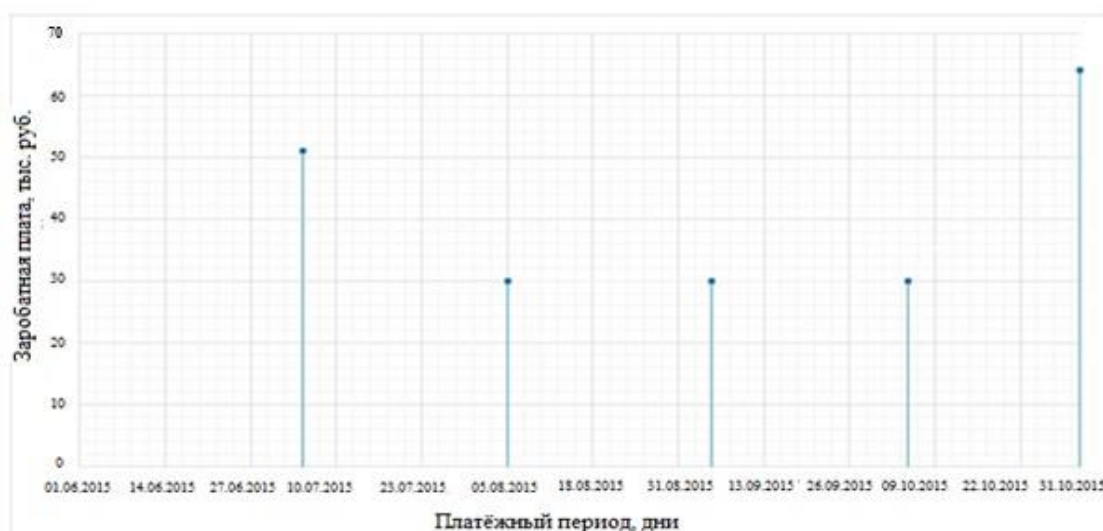


Рис. 4.3 – Диаграмма денежных ресурсов

Диаграмма трудовых ресурсов

Диаграмма трудовых ресурсов показывает распределение занятости рабочей силы во времени [15].

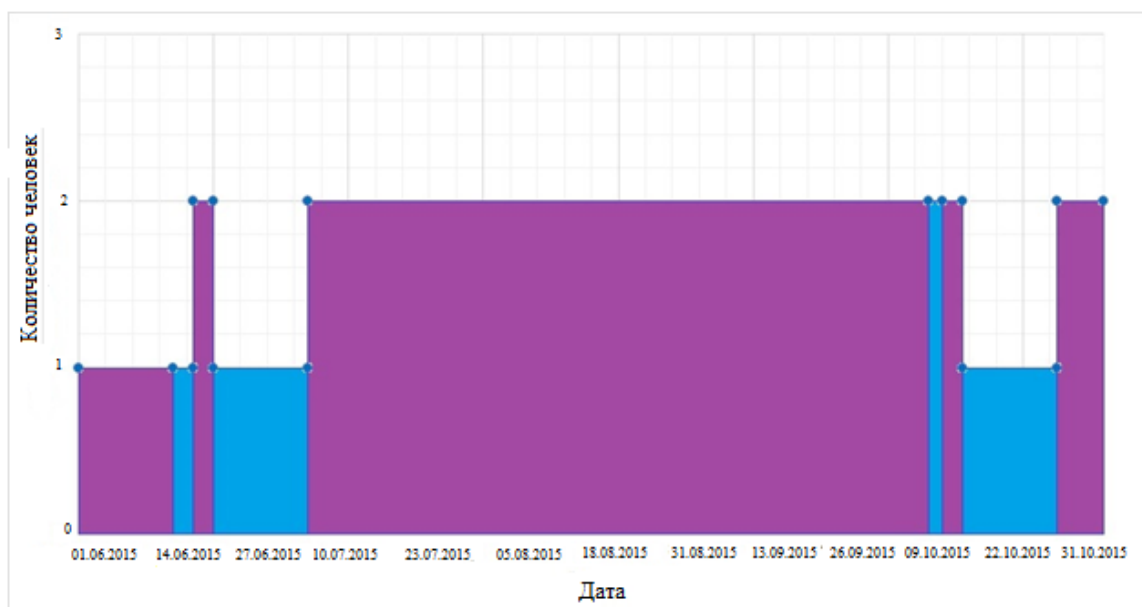


Рис. 4.4 – Диаграмма трудовых ресурсов

В результате проведённой 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.

4.5. 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.

4.6. 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) [16].

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

Продолжение таблицы 4.6

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 4.7 Препятствие Ростехнадзора

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

Продолжение таблицы 4.7

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		$\Sigma b_i=60$	$\Sigma W_i=1$	$\Sigma P_i*W_i=32.75$

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*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		$\Sigma b_i=60$	$\Sigma W_i=1$	$\Sigma P_i*W_i=54.75$

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*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		$\Sigma b_i=49$	$\Sigma W_i=1$	$\Sigma P_i*W_i=31$

Таблица 4.10 – Оценка политических рисков

Виды рисков в группе	Вероятность наступления риска P_i	Ранг риска b_i	Весовой коэффициент W_i	Итоговая оценка риска P_i*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 ($\sum P_i \cdot W_i = 32.75$; 31; 25 соответственно), в то время вероятность наступления экономических – 50/50. Данная оценка говорит о том, что проект имеет место быть, несмотря на препятствия.

4.7. 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 коронстойким 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 коронстойким

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

В таблице 4.14 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.

(4.8)

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.

4.8. 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.