

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

Инженерная школа Неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.04.01 - Приборостроение
 Отделение школы (НОЦ) Электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Ленточная намотка моментного двигателя
УДК <u>621. 313. 13. 042. 143. 2</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6В	Ананьева Елена Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Мартемьянов Владимир Михайлович	Кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артем Георгиевич	Кандидат исторических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Анищенко Юлия Владимировна	Кандидат технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Нестеренко Тамара Георгиевна	Кандидат технических наук		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

12.04.01 «Приборостроение»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Способность совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;
P2	Способность адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий <i>в профессиональной области.</i>
P3	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P4	Способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности <i>в областях контроля качества продукции предприятий измерительной техники и точного приборостроения;</i> приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности.
P5	Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении.
P6	Умение профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и инновационные риски при их внедрении.
P7	Способность проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P8	Умение разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики, используемых в приборостроении; способность разработать и проводить оптимизацию натуральных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности.
P9	Умение организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологических процессов; решать экономические и организационные задачи технологической подготовки приборных систем и выбирать системы обеспечения экологической безопасности в производстве и при технологическом контроле.
P10	Способность проектировать математические модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи; выбирать оптимальные методы и программы экспериментальных исследований и испытаний, проводить измерения с выбором современных технических средств и обработкой результатов измерений.
P11	Способность формулировать цели, определять задачи, выбирать методы исследования в области приборостроения на основе подбора и изучения литературных и патентных и других источников; разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию на объекты приборостроения, а также осуществлять системные мероприятия по реализации разработанных проектов и программ; составлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам исследовательской деятельности

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

Инженерная школа Неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 12.04.01 - Приборостроение
Отделение школы (НОЦ) Электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6В	Ананьевой Елене Сергеевне

Тема работы:

Ленточная намотка моментного двигателя

Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 16.11.2017, 9068/С
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект разработки и исследований – ленточная обмотка (намотка) якоря моментного магнитоэлектрического двигателя. Принцип работы изложен в описаниях к патентам РФ №2441310, № 2454776, а также Долгих А.Г. и др. «Активный ленточный элемент моментного электродвигателя». Сб. докладов «Завалишинские чтения-17», 10-14 апреля 2017 г. Изд-во ГУАП, С-Петербург, 2017. Режим работы макета намотки - кратковременный, при достижении температуры намотки не выше 150о С. Питание макета – постоянный ток до 100 А. При исследовании температурных режимов допускается переменный ток с действующим значением до 100 А. Макет предназначен для исследований в условиях лаборатории ОЭИ.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Моментные двигатели в современной технике. Достоинства и недостатки, приемы увеличения развиваемого момента. Моментный двигатель с ленточной намоткой. Электрические характеристики намотки. Анализ тепловых режимов намотки и ее элементов с использованием методов численного моделирования. Разработка методики экспериментальных исследований, подбор оборудования, проведение экспериментальных исследований. Анализ полученных результатов, выработка предложений с целью улучшения характеристик моментного двигателя с ленточной намоткой.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация к докладу (10 – 12 слайдов)</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Данков Артем Георгиевич, к.и.н., доцент</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Анищенко Юлия Владимировна, к.т.н., доцент</p>
<p>«Раздел на иностранном языке»</p>	<p>Квашнина Ольга Сергеевна, старший преподаватель</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Моментные двигатели; назначение и виды обмоток</p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Мартемьянов Владимир Михайлович	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6В	Ананьева Елена Сергеевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6В	Ананьевой Елене Сергеевне

Школа	ИШНКБ	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки позволяет говорить о том, что разработка считается перспективной и ее следует развивать.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование бюджета научных исследований состоит из: материальных затрат НИИ, затрат на спецоборудование для научных работ, затрат по основной заработной плате исполнителей работы, затрат по дополнительной заработной плате исполнителей работы, отчисления во внебюджетные фонды, расходов на командировки, оплаты услуг других организаций, накладных расходов.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Составив таблицу сравнительной эффективности разработки, убедилась в том, что данная интеллектуальная система является наиболее ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной разработкой.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка услуг моментных двигателей (рисунок 1);
2. Функционально-стоимостная диаграмма (рисунок 2)

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артем Георгиевич	К.и.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6В	Ананьева Елена Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6В	Ананьевой Елене Сергеевне

Инженерная школа	ИШНКБ	Подразделение	Электронная инженерия
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение,

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Характеристика объекта исследования: – Ленточная обмотка; – Алюминий. Область применения объекта исследования: – моментный двигатель.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность 1.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: 1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p>	<p>1.2 При разработке интеллектуальной системы могут возникнуть следующие вредные факторы: - недостаточная освещенность рабочего места; - отклонения показателей микроклимата от нормы. Опасные факторы - электрический ток</p>
<p>2. Экологическая безопасность</p>	<p>2. Возможно воздействие на литосферу. Бытовые отходы.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p>	<p>3. Наиболее вероятной ЧС является пожар в помещении.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p>	<p>4. Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н.,		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6В	Ананьева Елена Сергеевна		

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
 Уровень образования магистратура
 Отделение электронной инженерии
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2016/2018 учебного года

Форма представления работы:

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.03.2018	<i>Обзор литературных источников по теме.</i>	17
30.04.2018	<i>Численный анализ с использованием COMSOL Multiphysics.</i>	25
29.05.2018	<i>Проведение натурных экспериментов. Анализ результатов.</i>	30
30.05.2018	<i>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	6
31.05.2018	<i>Раздел «Социальная ответственность»</i>	6
01.06.2018	<i>«Раздел на иностранном языке»</i>	6
04.06.2018	<i>Оформление магистерской диссертации</i>	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Мартемьянов Владимир Михайлович	Кандидат технических наук		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Нестеренко Тамара Георгиевна	Кандидат технических наук		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 117 с., 37 рис., 30 табл., 35 источника, 1 прил.

Ключевые слова: ленточная намотка, моментный двигатель, электрическое сопротивление, тепловой режим, термопара.

Объектом исследования является ленточная намотка моментного двигателя.

Цель работы:

1. Определение геометрических параметров, обеспечивающее минимальное сопротивление намотки.
2. Определение температурных режимов намотки при протекании токов.

В процессе исследования проводились: численное моделирование и экспериментальные исследования макета пластины.

В результате исследования получены:

1. Геометрические соотношения габаритов пластины из которой состоит ленточная намотка.
2. Получены экспериментальные результаты для сопоставления с численными результатами.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: ленточная намотка предназначена для работы в диапазоне токов до 100 А. Определенно, что минимальное сопротивление пластины будет наблюдаться при соотношении сторон 0.68.

Степень внедрения: предназначены для разработки макета.

Область применения: электрические машины предназначенные для работы в режиме моментного двигателя.

Магистерская диссертация выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2010 с использованием программ: COMSOL Multiphysics, T-Flex Cad, Mathcad 2014

В будущем планируется исследование намотки в совокупности в двигателе.

Определения, обозначения, сокращения

В настоящей работе использованы следующие обозначения и сокращения:

МД – Моментный двигатель

ДБМ – Двигатель Бесконтактный Моментный

ДБМВ – Двигатель Бесконтактный Моментный Вентильный

ЭДС – Электродвижущая сила

МПТ – Машина постоянного тока

ПБД – Провод обмоточный с волокнистой изоляцией (хлопчатобумажная)

ПЭЛ – Провод с Эмалевым Лакостойким покрытием

ПЭВ-1 – Провод с Эмалевым Высокопрочным покрытием

ПЭТВ – Провод обмоточный медный, изолирован эмалью на базе полиэфиров трефталевой кислоты.

ПЭВА – Провода обмоточные с эмалевой изоляцией

ПМС – Полиметилсилоксановая жидкость

ПЭЛБО – Провод медный, изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи

ПДА – Провод медный, изолированный одним слоем асбестового волокна, подклеенного к меди и пропитанного нагревостойким лаком

ПЭЛРА – Провод алюминиевый, эмалированный, высокопрочный, с полиамиднорезольной изоляцией

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	13
1. Моментные двигатели	16
1.1 История создания моментных двигателей	17
1.2 Моментные двигатели в современной технике.....	19
1.3 Достоинства и недостатки моментных двигателей.....	20
1.4 Прием увеличения развиваемого момента.....	22
2. Назначение и виды намоток	24
2.1 Виды обмоток.....	26
2.2 Материалы намоток.....	30
3. Электрические характеристики намотки	34
3.1 Пластина как элемент ленточной намотки.....	35
3.2 Электрическое сопротивление пластины.....	37
4. Численное моделирование теплового режима намотки	40
5. Экспериментальные исследования элементов ленточной намотки	47
5.1 Сопротивление единичной пластины. Зависимость электрического сопротивления пластины распределенному току от ее длины.....	47
5.2 Экспериментальное исследование теплового режима пластины.....	48
5.3 Выводы по разделу.....	59
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
6.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	60
6.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	61
6.3 SWOT-анализ.....	63
6.4 Структура работ в рамках научного исследования.....	69
6.5 План проекта.....	70
6.6 Диаграмма Ганта.....	71
6.7 Бюджет научного исследования.....	73
7. Социальная ответственность	81
7.1. Производственная безопасность.....	81
7.2. Экологическая безопасность.....	90

7.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	91
7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	94
Заключение	96
Список публикаций	97
Список используемой литературы	98
Приложение А	102

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире при разработке или эксплуатации различных систем управления в промышленности – телемеханика, автоматика, измерительная техника в качестве исполнительного механизма традиционно применяются моментные двигатели которые имеют большие преимущества перед обычными двигателями. Габариты и большое энергопотребление так и остаются главным недостатком моментных двигателей.

В современном мире разработка и применение таких двигателей получило главное развитие, но постоянное повышение технико-экономических требований к управляющим системам, появление новейших материалов, выпуск двигателей ограниченными партиями вносят новые аспекты в конструирование моментных двигателей. На сегодняшний день имеется разработанное специальное программное обеспечение, и пакеты различных прикладных программ, которые позволяют практически полностью автоматизировать все этапы проектирования.

По конструкции двигателя различают: нормального исполнения и обращенного исполнения. В двигателе нормального исполнения – обмотка управления размещена под индуктором, а в двигателе обращенного исполнения – обмотка управления может располагаться как на статоре, так и на роторе. Достоинством моментного двигателя с постоянными магнитами является относительно малое потребление мощности на единицу момента, так как рабочий магнитный поток обеспечивают постоянные магниты.

В работе рассмотрено дальнейшее исследование идеи нового варианта создания активного элемента исполнительных устройств, в которых функции обмотки машин традиционного исполнения выполняет ленточная намотка (пакетный элемент). Проведенные исследования будут являться основой для развития теоретических аспектов двигателя подобного рода. В ходе работ, проведенных в предыдущие годы, предложен принцип действия моментного двигателя оригинального исполнения, спроектирован и изготовлен макет такого двигателя, проведены аналитические и экспериментальные исследования с

помощью программных продуктов COMSOL Multiphysics и T-Flex Cad и разработанных исследовательских установок.

Полученные аналитические исследования еще необходимо откорректировать, потому как в математических моделях двигателя не учитывались некоторые факторы, такие как деформация токовых линий распределенного по пластине тока, искажение основного магнитного потока, протекающим по пластине током, а также влияния тепла. Данная коррекция возможна с помощью проведения экспериментальных исследований на специально разработанной установке.

Моментные двигатели находят все большее применение и имеют ряд преимуществ по сравнению с другими традиционными двигателями. В связи с этим в МД возникает большая потребность практически во всех динамически развивающихся отраслях. При проектировании МД учитываются факторы, которые оказывают влияние на надежность, работоспособность и качество работы машины. Одним из таких факторов является нагрев, источником которого во многом являются собственные тепловыделения. Следовательно, возникает необходимость для учета тепловых потерь на этапе проектирования, для чего необходимы методы теплового расчет МД.

При изготовлении МД особую роль играет – обмотка, в которой больше всего происходит нагрев и чаще всего двигатель выходит из строя. Для этого необходимо провести экспериментальные исследования. В магистерской работе объектом исследования является – ленточная намотка МД.

Данная работа посвящена исследованию ленточной намотки в моментном двигателе, а именно экспериментальному исследованию влияния геометрических параметров пластины.

В настоящей работе исследуются тепловые режимы ленточной намотки моментного двигателя, которая представляет собой новый вариант активного элемента исполнительных устройств. Исследования проводились с целью выяснения влияния величины и длительности протекания тока на температурные характеристики моментного двигателя. Исследования

построены с использованием численных методов и выполнены с помощью программного продукта COMSOL Multiphysics. В результате исследований получен характер распределения температурных полей в элементах ленточной намотки моментного двигателя. Определение относительных габаритов, обеспечивающее минимальное сопротивление. Продемонстрированы возможности применения предложенной методики исследования при расчете и проектировании подобных двигателей.

1 Моментные двигатели

Моментный двигатель – обычный электрический двигатель, или еще одно традиционное название электромеханический преобразователь. В нем на вход подается электрический сигнал постоянного или переменного тока, а на выходе получаем электромагнитный момент. Рабочий режим такого двигателя - ротор двигателя вращается с малой частотой или неподвижен. Двигатель имеет следующие особенности – низкая частота вращения и бескорпусное исполнение.

В настоящее время в термин "моментный двигатель" вкладываются два понятия. С одной стороны, это означает, что электродвигатель предназначен для создания момента при работе на сверхнизких скоростях поворота нагрузки; с другой, полагается, что двигатель оптимизирован по удельному развиваемому моменту на единицу массы, объема или потребляемой из сети мощности [1].

Современный термин "моментный двигатель" имеет два понятия:

- электродвигатель предназначен для создания момента при работе на сверхнизких скоростях поворота нагрузки;
- электродвигатель оптимизирован по удельному развиваемому моменту на единицу массы, объема или потребляемой из сети мощности.

Обычно моментный двигатель монтируется в какой-либо управляемый объект или машину без всякой механической передачи, например, редуктора (безредукторный привод) и поэтому отличаются от классических электродвигателей, так как не имеют корпуса, вала и подшипников. Двигатель выполнен в виде двух узлов: ротора и статора, имеющих форму плоских колец, которые монтируются в элементы привода (рисунок 1).

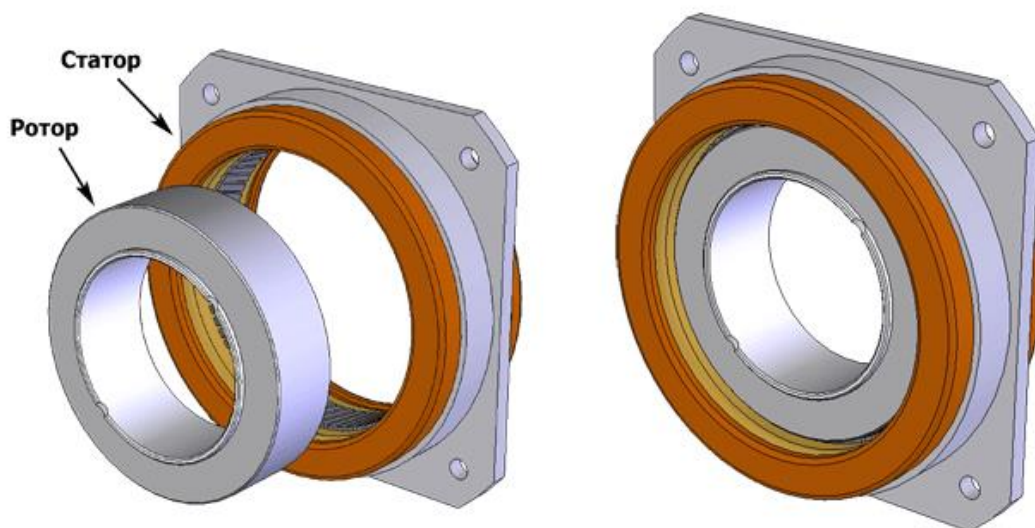


Рисунок 1 – Двигатель ДБМ (Двигатель Бесконтактный Моментный)

1.1 История создания моментных двигателей

Впервые моментный двигатель был применен в 1842 г. шотландским предпринимателем Робертом Дэвидсоном в четырехколесной повозке для железнодорожной линии Эдинбург – Глазго. На повозке колеса были насажены на деревянные валы двигателей, имеющих три продольные железные полосы, которые поочередно притягивались электромагнитами статора, переключаемыми механическими коммутируемыми на валах двигателями. Подобные электродвигатели называются теперь индукторными. Повозка весом 5 тонн развивала скорость до 4 миль/час, и впервые вращение колеса было получено непосредственно, т. е. напрямую, от электродвигателя. Отсюда и пошел современный термин «прямой привод» (DirectDrive) или термин «безредукторный привод».

Другой известный пример прямого привода – электрический молот французского электротехника Марселя Депре, созданный в 1882 г. Он представлял собой линейный электромагнит с сердечником (молотом) массой 23 кг и обмоткой, секции которой переключались ручным коммутатором. Это положило начало линейным двигателям.

В 30-40-х годах XX века появился безредукторный дугостаторный асинхронный привод, применяемый до сих пор в мощном электроприводе металлургической, цементной и других отраслях промышленности.

Это были отдельные уникальные конструкции, так как в подавляющем большинстве случаев применялись редукторные приводы на базе быстроходных (1000 – 10 000 об/мин) электродвигателей постоянного и переменного тока.

Опыт СССР и России.

Появление мощных редкоземельных магнитов вернули интерес к созданию бесконтактных электродвигателей встраиваемого исполнения на базе синхронных машин с постоянными магнитами на роторе.

Эти двигатели для выполнения специальных задач начали проектироваться в 1970-х годах во ВНИИЭМ, НИЭМ (г. Миасс), ЦНИИАГ, ЦНИИКП, ЦНИИэлектроприбор и на других предприятиях страны. На московском заводе «Машиноаппарат» создаются моментные двигатели для широкого применения типа ДМВ. На базе этих машин и была разработана большая серия пазовых и гладких двигателей ДБМ с самарий - кобальтовыми магнитами с моментами 0,01 – 16 Нм. Двигатели ДБМ производятся в ОАО «Машиноаппарат» до сих пор, пополнившись новыми рядами 2ДБМ и 3ДБМ (рисунок2).

В двигателях ряда 3ДБМ самарий-кобальтовые магниты заменены более мощными магнитами типа «нежебор», но все отечественные марки магнитов «нежебор» пока не обеспечивают высокий уровень надежности и стабильности, необходимые для объектов промышленности и военной техники.



Рисунок 2 – Электродвигатели ДБМВ 50

В 2010 г. петербургская компания ЗАО «ЭЛМА-Ко» закончила разработку нового ряда моментных двигателей с улучшенными

характеристиками ДБМВ с самарий - кобальтовыми магнитами, включающего 20 тип номиналов диаметром от 50 до 240 мм с моментами 0,025 – 100 Нм.

По сравнению с двигателями серии ДБМ эти двигатели более улучшенными характеристиками – высокий коэффициент статической добротности по моменту и малая электромеханическая постоянная времени.

Это достигнуто переходом от распределенной обмотки статора двигателей ДБМ к сосредоточенной катушечной (зубцовой) обмотке, а также заменой ротора коллекторного типа с тангенциально намагниченными магнитами на ротор типа «звездочка», с магнитами, намагниченными радиально. Двигатели ДБМВ с приемкой 5 производятся в настоящее время заводом «ЛЕПСЕ» (г. Киров).

1.2. Моментные двигатели в современной технике

Области применения

Моментные двигатели широко используются в системах автоматического управления, в следящих системах и системах угловой стабилизации, в том числе, для бортовых установок летательных аппаратов, исполнительных системах управления роботов и манипуляторов, в медицинском приборостроении, где применяются жесткие требования у уровню шума и уровню пульсаций вращающего момента, в химической и микробиологической промышленности для передачи вращающего момента через герметичную перегородку в изолированную полость, в качестве привода колес в гибридных электромобилях и т.д. [2,3,4,5,6,7].

Моментные двигатели можно классифицировать по назначению, принципу действия, роду тока и конструктивному исполнению. По способу создания основного магнитного потока моментные двигатели выполняются с возбуждением от постоянным магнитов и электромагнитного возбуждения. Также моментные двигатели различаются расположением якорной обмотки: на роторе или на статоре; количеством пар полюсов; способом подачи тока в обмотку управления (коллекторные, вентильные или с гибкими токоподводами); рабочим диапазоном углов поворота ротора и многими

другими признаками. Подробное описание классификации моментных двигателей приведено в [8].

1.3. Достоинства и недостатки моментных двигателей

Моментный двигатель работает практически с неподвижным ротором, так как ротор развивая необходимый момент, проворачивается лишь на малый угол, или как обычно говорят работает в режиме короткого замыкания.

Моментные двигатели изготавливаются двух типов для постоянного и переменного токов. Как правило, у двигателя постоянного тока независимого возбуждения момент короткого замыкания пропорционален приложенному напряжению. У асинхронных трехфазных или двухфазных двигателях вращающий момент находится в квадратичной зависимости от напряжения в цепи статора, а в двухфазном двигателе необходимо всего лишь регулировать величину тока в одной обмотке (обмотке управления) и изменять момент за счет внесения асимметрии [9].

Системы управления с моментными двигателями отличаются повышенным быстродействием, так как двигатель практически не вращается, а следовательно его механическая инерция не влияет на динамику системы и все переходные процессы в двигателе определяются электромагнитной инерцией обмоток. Поэтому переходные в двигателе завершаются быстрее чем при отработке перемещений, так как электромагнитная постоянная двигателя намного меньше электромеханической постоянной.

Конструктивные особенности моментных двигателей определяются принципами их работы. Асинхронный моментный двигатель функционирует за счет взаимодействия вращающегося магнитного поля, создаваемого статорной обмоткой, с наведенными этим полем токами в обмотке ротора. Электромагнитные моментные двигатели содержат ферромагнитный якорь, притягиваемый к сердечнику с обмоткой, по которой пропускается электрический ток. Магнитоэлектрический моментный двигатель в своем составе имеет обмотку, активные проводники которой находятся в магнитном

поле, создаваемом постоянным магнитом; при протекании через обмотку постоянного тока создается момент, пропорциональный этому току [10].

Перечисленные типы моментных двигателей имеют свои преимущества и недостатки, к числу последних относится малая величина развиваемого момента.

Известен также электродинамический моментный двигатель. Конструктивно электродинамический моментный двигатель отличается от магнитоэлектрического тем, что вместо постоянного магнита используется электромагнит. Схемы электродинамических двигателей могут быть выполнены как с внешним, так и с внутренним электромагнитом. Подавая в обмотку электромагнита соответствующий ток, можно получить в рабочем воздушном зазоре значительно большие значения магнитной индукции по сравнению с конструкцией, использующей постоянный магнит. При этом возрастет и развиваемый двигателем момент. Обмотка электромагнита обычно подключается постоянно к сети и является обмоткой возбуждения двигателя; вторая подключается к цепи управления и называется обмоткой управления. Обмотка управления выполняется обмоточным проводом и по характеру расположения на магнитопроводе может быть как кольцевой, так и барабанной. Обмотки возбуждения и управления расположены на разных частях моментного двигателя - статоре и роторе, в зависимости от конструктивных особенностей конкретного двигателя. Однако увеличение индукции в воздушном зазоре с целью увеличения развиваемого момента ограничено допустимым положением рабочей точки на кривой намагничивания материала как сердечника электромагнита, так и материала магнитопровода, на котором расположена обмотка управления. Увеличение числа витков и тока в обмотке управления для создания большего развиваемого двигателем момента приведет к необходимости увеличения воздушного зазора, в котором размещены активные проводники упомянутой обмотки. Следствием увеличения воздушного зазора при неизменных параметрах цепи возбуждения станет уменьшение магнитной индукции в зазоре, что в итоге скомпенсирует

положительный эффект, создаваемый увеличением числа витков и тока в обмотке управления. Недостаток электродинамического моментного двигателя - малая величина развиваемого момента.

1.4. Прием увеличения развиваемого момента

Момент зависит от величины сопротивления отдельной пластины.

Основной характеристикой моментных двигателей, которая определяет его работоспособность, является моментная характеристика, она может определяться двумя зависимостями: момента от угла поворота ротора при постоянном токе управления ($M=\varphi(\alpha)$) и момента от тока управления при фиксированном угле поворота ($M=\varphi(I)$).

Сила, которая создается единичной пластиной определится следующим образом: [11]

$$F_1 = B(\delta) \cdot \Delta \cdot \frac{U}{2p \cdot R \cdot N} \cdot \frac{1}{I_0} \cdot D(x, y, I_0)_{x_c}, \quad (1)$$

где $B(\delta)$ – индукция магнитного поля; δ – длина немагнитного участка магнитной цепи; Δ – толщина ленты; U – напряжение источника питания постоянного тока; R – активное сопротивление единичной пластины; N – число витков (слоев) намотки; p – число пар полюсов магнитной системы; $D(x, y, I_0)_{x_c}$ – величина двойного интеграла по поверхности, представляющей зону действия магнитного потока. Интеграл вычисляется при нахождении центра постоянного магнита в точке x_c . I_0 – ток, при котором определяется величина двойного интеграла [11].

В многовитковой намотке выделим пакет расположенных одна над другой идентичных пластин. Определим момент M_0 , который может быть создан таким пакетом, находящимся под действием потока одного полюса магнитной системы:

$$M_0 = \sum_{i=1}^N M_{0i},$$

$$\text{где } M_{01} = F_1 \cdot r_0; M_{02} = F_1 \cdot (r_0 + \Delta); \dots; M_{0N} = F_1 \cdot [r_0 + (N - 1) \cdot \Delta] \quad (2)$$

В данном случае r_0 – средний радиус первого витка катушки.

С учетом того, что магнитная система имеет $2p$ полюсов, момент, создаваемый двигателем, равен

$$M = 2p \cdot M_0 = p \cdot \Delta \cdot N \cdot F_1 \cdot [N + (\frac{2r_0}{\Delta} - 1)] \quad (3)$$

Подставив в полученное выражение (3) величину силы единичной пластины (1), получаем выражение для момента двигателя с ленточной катушкой

$$M = \frac{\Delta^2}{2} \cdot \frac{U}{I_0 \cdot R} \cdot B(\delta) \cdot [N + (\frac{2r_0}{\Delta} - 1)] \cdot D(x, y, I_0)_{x_c} \quad (4)$$

В выражение (4) не входит число пар полюсов p , которое несмотря на это будет проявляться в величине двойного интеграла $D(x, y, I_0)_{x_c}$, сопротивления единичной пластины R , а также магнитной индукции в воздушном зазоре.

2 Назначение и виды намоток

Одной из важнейших частей электродвигателя является обмотка, в которой осуществляются основные рабочие процессы преобразования электрической энергии в механическую. Именно в обмотке электромашины происходит индуцирование электродвижущей силы (ЭДС) и появляется электроток, создающий при взаимодействии с магнитным полем электромагнитные силы.

Обмотка машины является очень существенной частью, так как в ней создаётся ЭДС и происходит процесс преобразования энергии. В зависимости от назначения, мощности и условий работы машины обмотки имеют различное конструктивное устройство.

Обмотки электрических машин состоят из проволочных катушек, которым придается определенная форма для укладки их в пазы сердечника. Катушки разделяют: на мягкие, намотанные из круглого провода, и жесткие – из прямоугольного провода. Обмотки, состоящие из полувитков (стержней), называются стержневыми [12].

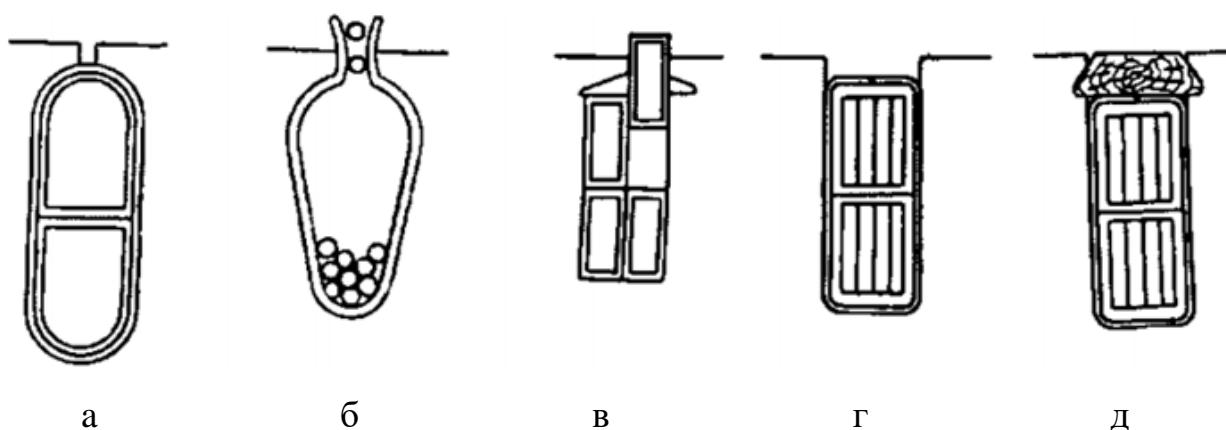


Рисунок 3 – Формы пазов: а) закрытый, б) полузакрытый, в) полуоткрытый, г) открытый с бандажом, д) открытый с клином.

Основными факторами в технологии изготовления обмоток являются число витков и сечение провода, поэтому изготовление одновитковых и многовитковых обмоток различается по производственным операциям и применяемому оборудованию. Способы укладки обмоток в пазы зависят от

формы паза. Пазы электрических машин имеют одну из следующих форм (рисунок 3):

- в закрытый паз провода вставляют с торца сердечника (рисунок 3а);
- в полузакрытый паз провода катушки всыпают по одному через узкую прорезь паза (рисунок 3 б);
- в полуоткрытый паз вкладывают жесткие катушки, разделенные в каждом слое на две (рисунок 3 в);
- в открытый паз вкладывают жесткие катушки и удерживают их в пазах якоря проволочными бандажами (рисунок 3 г);
- в открытый паз вкладывают жесткие катушки и удерживают их в пазах якоря или статора клиньями из дерева или иного изоляционного материала – рисунок 3 д.

Существуют обмотки двух типов, если сторона катушки занимает весь паз, это однослойная обмотка, а обмотки лежащие в пазах в два слоя – двухслойными.

В машинах переменного тока используются следующие три типа обмоток:

- катушечные,
- стержневые,
- специальные.

Катушечные обмотки изготавливают из изолированного медного или алюминиевого провода круглого сечения, стержневые и специальные – из шин прямоугольного сечения. Специальные обмотки применяют для короткозамкнутых обмоток роторов асинхронных двигателей, для пусковых и успокоительных обмоток синхронных машин, для одноякорных преобразователей и т. д.

В асинхронных двигателях с фазными роторами, с большим током потребления используют стержневые обмотки ротора. Их изготавливают из стержней, которые согнуты из голых медных шин и изолируют путем

обертывания изоляционными материалами. Обычно используют шины прямоугольного сечения или со скругленной гранью.

Как правило стержневые обмотки выполняют двухслойными с двумя стержнями в пазу (двухстержневые), но изготавливаются еще и стержневые обмотки с четырьмя стержнями в пазу. Такие обмотки рассматривают как двухстержневые с удвоенным числом пазов. Стержневые обмотки бывают двух типов - волновые и петлевые. Более распространены волновые обмотки, так как они имеют меньшее число соединений между катушечными группами.

Стержневые обмотки ротора изготавливают при закрытых или полузакрытых пазах ротора, то есть стержни вставляют в пазы с торца ротора, и обмотка состоит из стержней верхнего и нижнего слоя. Стержни слоев отличаются только длиной лобовых частей, которая у верхнего слоя больше, если используются стержни прямоугольного сечения. При использовании стержней с округленной гранью стержни верхнего и нижнего слоев отличаются различным расположением скругленной стороны. В стержневой обмотке используют еще один элемент - соединительные дуги (перемычки), для каждой фазы по одной, а всего на роторе три.

2.1. Виды обмоток

Несколько подробнее необходимо остановиться на рассмотрении обмоток моментных двигателей. Для подавляющего большинства бесконтактных моментных двигателей с постоянными магнитами обмотка якоря расположена на статоре. В рабочем режиме двигателя, когда его ротор практически неподвижен, энергия, подводимая к нему из сети, почти полностью выделяется в виде тепла в обмотках двигателя. Этот режим соответствует пусковому режиму (или короткого замыкания) обычных вращающихся электродвигателей. Из чего можно сделать вывод, что моментные двигатели нуждаются в более надежной системе охлаждения и поэтому проигрывают в массогабаритных показателях по сравнению с обычными вращающимися электродвигателями с таким же моментом.

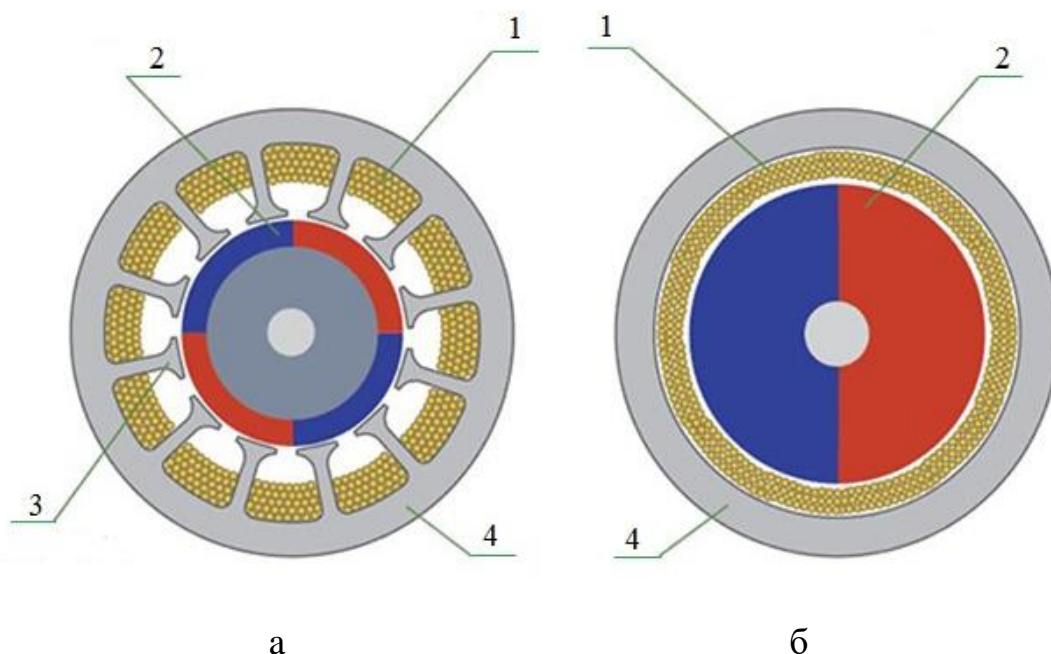


Рисунок 4 – Виды обмоток а) пазовая; б) беспазовая

1 –провода; 2 – магниты; 3 –зубцы статора;

4 – магнитопровод статора;

1) Пазовая обмотка (рисунок 4)

Пазовый статор с обмоткой, расположенной непосредственно в воздушном зазоре; это позволяет обеспечить отсутствие реактивного остаточного момента сопротивления и пульсации вращающего момента.

В первом случае обмотка расположена как у большинства электрических машин в пазах сердечника. Гладкий статор имеет обмотку, размещаемую на немагнитном основании, либо обмоточная структура создается путем компаундирования обмотки, предварительно выполненной на шаблоне.

Основными преимуществами технологии прорезей являются:

- простота настройки намотки
- повышенная теплоотдача
- способность выдерживать высокий пиковый крутящий

момент

- высокая плотность мощности

Недостатком этой обмотки является необходимость соблюдения технологического перехода в процессе прокладки деталей обмоточных секций в пазах якоря, что усложняет процесс наматывания последнего. Эта обмотка применима только для якорей с четным числом канавок.

2) Беспазовая обмотка (гладкий) (рисунок 4)

Гладкий (беспазовый) статор с обмоткой, расположенной непосредственно в воздушном зазоре; это позволяет обеспечить отсутствие реактивного остаточного момента сопротивления и пульсации вращающего момента.

Электродвигатели с гладким статором создают меньший вращающий момент, чем с пазовым статором, однако пульсации вращающего момента по углу поворота ротора у них существенно меньше. Кроме того, нелинейность зависимости максимального статического синхронизирующего момента от потребляемого тока у двигателей с гладким статором также меньше, чем соответствующая характеристика у двигателя с пазовым статором. У двигателя с гладким статором отсутствует реактивный остаточный момент [13, 14]. Указанные обстоятельства приводят к тому, что двигатели с гладким статором широко применяются в прецизионных приборных системах [15].

На выпуске таких моментных электродвигателей серии ДБМ по ГОСТ В 160.515.07685 специализируется завод ОАО «Машиноаппарат» (рисунок 5) [16].

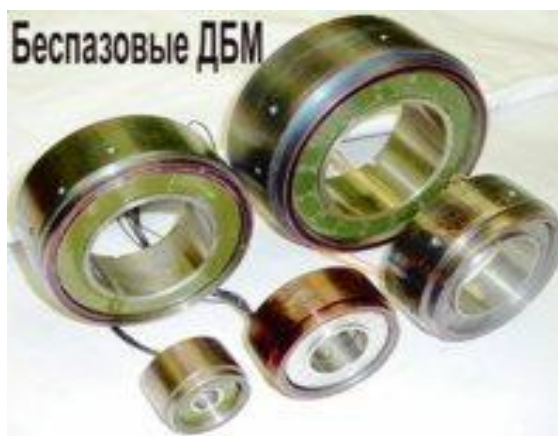


Рисунок 5 – Беспазовые моментные двигатели серии ДБМ

Применением беспазовой конструкции якоря при прочих равных условиях достигается повышение более, чем вдвое, единичной мощности машин постоянного тока (МПТ), значительное увеличение быстродействия реверсивных двигателей, перегрузочной способности за счет значительного уменьшения величины ξ по сравнению с зубчатым якорем. Однако переход к беспазовому якорю приводит к повышению расхода меди на обмотку возбуждения, что вызывает ухудшение массогабаритных показателей.

Электродвигатель постоянного тока с таким якорем имеет малую инерцию и применяется в схемах автоматического регулирования. Заметно упрощается технология изготовления сердечника якоря и обмотки. Он может развивать вращающий момент при пуске, равный 10 кратному номинальному моменту, поэтому валы таких якорей делают усиленными. Обмотка якоря эффективно охлаждается благодаря хорошим условиям теплоотдачи с поверхности якоря, поэтому двигатель выполняется без вентилятора. Эти характерные особенности двигателей с беспазовым якорем и отличают его от обычных двигателей.

При одинаковой мощности системы возбуждения, в зубцово - пазовых двигателях из-за малой величины воздушного зазора имеем достаточно высокие значения индукции в зазоре и соответственно полезного потока. Кроме того, при одинаковой плотности тока линейная нагрузка зубчатого статора больше, чем беспазового. Но, если имеются жесткие требования к электромагнитному быстродействию, а также равномерности вращающего момента в пределах угла поворота ротора, двигателя с зубцово-пазовой конструкцией не применяются, во первых из-за большой индуктивности обмотки, которая не позволит реализовать требуемое быстродействие, во вторых, из за зубцовых пульсаций момента, которые невозможно устранить системными методами.

Типы якорных обмоток, применяемых в моментных двигателях, те же самые, что и в традиционных электродвигателях. Обмотки могут быть кольцевыми, барабанными, сосредоточенными, распределенными, ромбовидными (диагональными) и др. Анализ существующих обмоток и их

влияние на характеристики электродвигателей проведен в ряде научных источников [17, 18, 19, 20]. Достаточно полно и подробно эти вопросы рассматриваются, в частности, в работах [21, 22, 23].

Имеющиеся наработки в конструировании моментных приводов, систем управления ими, применении новых материалов – в некоторой степени позволят улучшить качественные показатели новых разрабатываемых систем. Однако, не исключается вероятность того, что традиционные решения к разработке моментных двигателей могут приблизиться к своему пределу, когда их характеристики практически нельзя будет существенно улучшить. В этом случае появится необходимость новых конструктивных подходов.

Моментные электродвигатели могут оцениваться различными характеристиками [24], но преимущественно на практике используется коэффициент статической добротности (статическая добротность). Этот коэффициент учитывает развиваемый двигателем пусковой момент M , массу двигателя (массу активных частей) m и потребляемую двигателем при пуске мощность P (5)

$$Q = \frac{M}{m \cdot \sqrt{P}}. \quad (5)$$

2.2. Материалы намоток

Электродвигатель, как один из самых подверженных тяжелым нагрузкам агрегатов, очень часто выходит из строя. Основная причина поломок — скачки напряжения и перегрев, вследствие чего в обмотке нарушается изоляция, происходит замыкание и медные провода попросту плавятся. Выбрасывать двигатель — не всегда правильное решение, ведь можно обойтись его капитальным ремонтом, что, конечно же, в большинстве случаев дешевле, нежели покупка нового агрегата.

Обмотка электродвигателей — процесс достаточно трудоемкий, который требует от обмотчика-ремонтника не только усидчивости, но и немалого опыта.

Если взглянуть на обмоточные данные электродвигателей, то можно заметить, что в этих таблицах речь идет в основном о характеристиках используемых при обмотке медных и алюминиевых проводов. Именно они и являются основным расходным материалом. Каждый отдельный случай требует использования обмоточных проводов с определенными техническими характеристиками — марка, сечение, тип изоляции и т. д.

Широкое использование алюминиевых проводов вместо проводов из меди началось несколько десятилетий назад. Связано это прежде по следующим причинам:

- затраты на добычу, обогащение и выплавку этих металлов. Алюминия содержится в рудах от 40% до 60%, а меди только 1 – 1,5%. Соответственно и выплавка алюминия в мировом масштабе за последнее десятилетие увеличилась в четыре раза, тогда как производство меди растет ежегодно на 5 – 6%.

- менее затратный процесс получения, а следовательно дешевизна алюминия обусловили стремление к увеличению его производства и потребления.

Массовое применение алюминия в машиностроении началось при изготовлении из него короткозамкнутых обмоток асинхронных двигателей переменного тока, которые широко используются в промышленности

Заливка роторов алюминием существенно изменила и упростила технологию выполнения обмоток роторов по сравнению с обмотками из медных сплавов. Даже большее по сравнению с медью сопротивление алюминия явилось положительным фактором. Преимущество электрических асинхронных двигателей с короткозамкнутой обмоткой ротора выполненной из алюминия перед короткозамкнутой обмоткой из меди:

- более высокий пусковой момент двигателя;
- более низкий пусковой ток.

На сегодняшний день алюминиевые обмоточные провода широко используют для изготовления выпных обмоток статора асинхронных

двигателей мощностью до 100 кВт и напряжением до 500В. Применение алюминиевых проводов существенно может поднять производство электрических машин до уровня, обеспечивающего полную электрификацию страны, ведь каждая тонна меди, замененная алюминием, дает большую экономию на снижении капиталовложений в цветную металлургию и сокращает сроки наращивания новых мощностей.

Сегодня изготавливаются алюминиевые обмоточные провода тех же стандартных размеров, что и медные, ну конечно, веса и сопротивления алюминиевых проводов иные.

Недостатками алюминиевых проводов по сравнению с медными являются меньшая электрическая проводимость, механическая прочность и объемная теплоемкость, а также худшая теплопроводность. Преимуществами являются меньший удельный вес, большая эластичность, облегчающая их укладку в пазы, и значительно лучшее сцепление с эмалевой изоляцией, повышающее надежность работы машины.

При замене медных проводов алюминиевыми для сохранения прежних значений пускового и максимального моментов следует оставить неизменной величину магнитной индукции, а следовательно, и число активных проводов в пазу. Так как удельное электрическое сопротивление алюминия в 1,63 раза больше, чем у меди, то при том же диаметре обмоточного провода надо уменьшить силу тока, а следовательно, и мощность двигателя.

При замене медных проводов марок ПБД и ПЭЛБО и изоляцией класса А алюминиевыми у двигателей старых серий в большинстве случаев удастся сохранить мощность двигателя прежней путем уменьшения толщины витковой и корпусной изоляции и перехода на изоляцию класса Е.

Обозначение марок обмоточных проводов начинается с буквы П (провод). Волокнистая изоляция имеет обозначения: Б — хлопчатобумажная пряжа, Ш — натуральный шелк, ШК либо К — искусственный шелк — капрон, С — стекловолокно, А — асбестовое волокно, О либо Д — соответственно указывают на один либо два слоя изоляции обмоточного провода. К примеру,

марка ПБД обозначает: провод обмоточный, медный, имеющий изоляцию из 2-ух слоев хлопчатобумажной пряжи, марка ПЭЛ обозначает: провод обмоточный медный, покрытый лакостойкой эмалью, ПЭВ-1 — провод обмоточный медный, изолированный одним слоем эмали винифлекс, ПЭТВ — провод обмоточный медный, изолирован эмалью на базе полиэфиров трефталевой кислоты.

Обычно при обозначении алюминиевых обмоточных проводов всегда имеется буква А. Медный провод является исключением марки ПДА с асбестовой изоляцией. Наиболее распространенные алюминиевые провода марок ПЭВА – 2 и ПЭЛРА – 2 с эмалевой изоляцией [12].

Алюминиевая обмотка в асинхронном двигателе примерно в два раза легче и на 20—40% дешевле медной. Однако КПД у двигателя с алюминиевой обмоткой ниже, что вызывает перерасход электроэнергии. Дополнительные потери энергии при эксплуатации двигателя с алюминиевой обмоткой превышают экономию, получаемую при замене медной обмотки, поэтому переход на алюминиевую обмотку является вынужденной мерой, вызванной дефицитностью меди.

3 Электрические характеристики катушки

Элементами ленточного моментного двигателя являются внешняя и внутренняя магнитные системы, гильза и ленточная катушка. Схема двигателя представлена на рисунке 6.

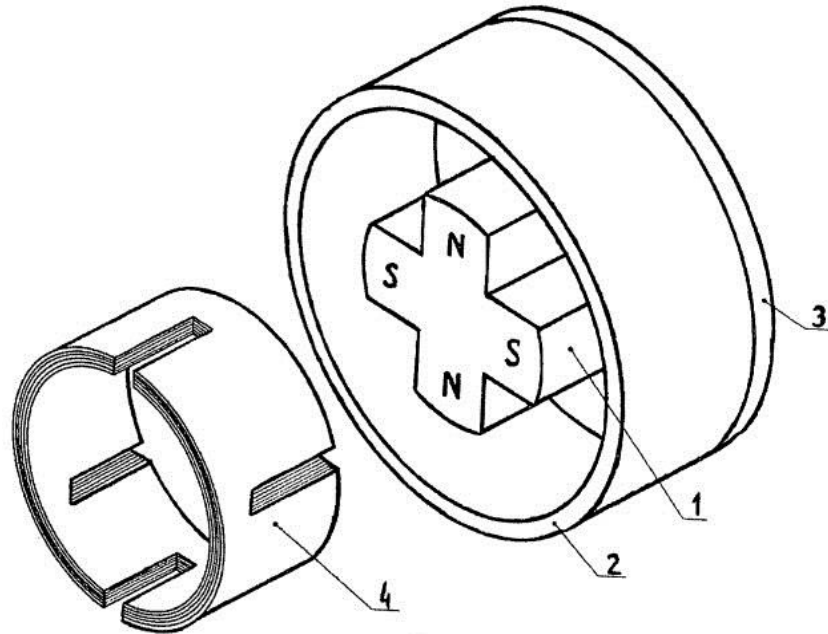


Рисунок 6 – Схема моментного двигателя с ограниченным углом поворота ротора

На рисунке 6 ротор двигателя представляет собой многополюсный постоянный магнит 1, соединенный с магнитопроводом 2 с помощью немагнитной диафрагмы 3. Активный элемент 4, представляющий собой спирально намотанную ленту из электропроводящего материала, помещается в зазор между многополюсным магнитом и магнитопроводом.

Ленту покрывают слоем изоляционного материала. По бокам ленты находятся поперечные вырезы. Эти вырезы при намотке ленты, образуют в активном элементе двигателя боковые пазы. Поэтому полюсное деление магнита определяется по расстоянию между центрами боковых пазов. При приложении постоянного напряжения к началу и концу ленты, то наличие поперечных вырезов определит характер протекания постоянного тока в ленте. Таким образом возникновение в моментном двигателе момента относительно

оси вращения обусловлено взаимодействием поперечной составляющей тока с магнитным полем магнита [24].

3.1. Пластина как элемент ленточной катушки

На рисунке 7 представлена прямоугольная однородная пластина выполненная из электропроводящего материала и подключенная к электрической цепи в точках, расположенных в вершинах ее диагонали.

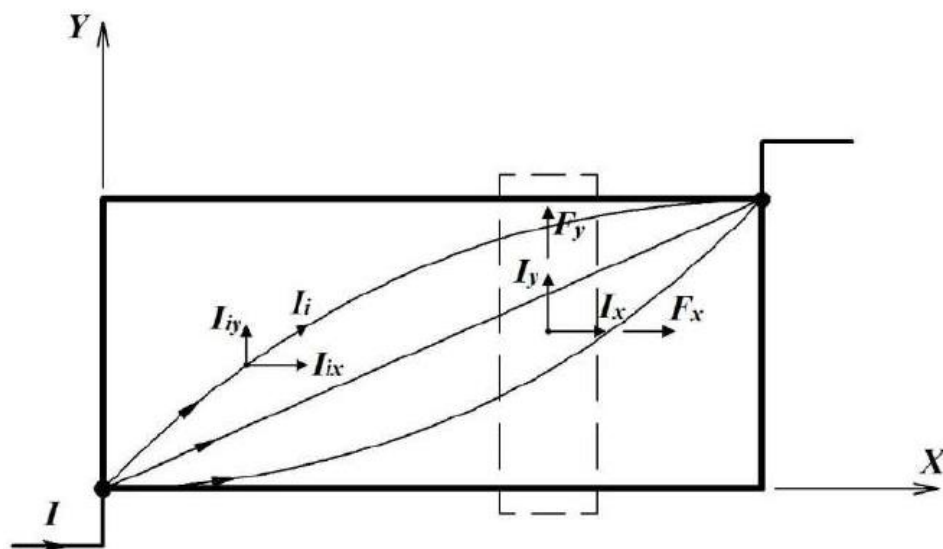


Рисунок 7 – Электропроводящая пластина

Распределенный ток, протекающий через пластину будут составлять токи I_i , имеющие в каждой точке две компоненты I_{ix} и I_{iy} . Суммирование токов, протекающих в зоне действия магнитного потока устройства, выделенного штриховой линией, покажет, что в данной области протекают две составляющие полного тока I_x и I_y . При этом значения данных составляющих будут определяться геометрией пластины. Ток I_y , взаимодействуя с источником магнитного поля, создает силу F_x , направленную по оси X , а ток I_x – силу F_y , направленную по оси Y . Данные силы будут вызывать взаимное перемещение пластины и источника магнитного поля. При этом действие силы F_y , создаваемой током I_x , будет компенсироваться в опорах подвеса источника магнитного поля, а сила F_x , вызванная током I_y , будет создавать необходимую силу для работы двигателя. Создаваемая сила может быть увеличена последовательным электрическим подключением нескольких аналогичных

пластин, которые формируются в единый пакет так, чтобы их поверхности были параллельны и разделены изолятором. Эффективность такого пакетного элемента будет пропорциональна количеству пластин. Несколько последовательно соединенных и расположенных вдоль окружности пакетных элементов, обладающих идентичными характеристиками и находящихся под действием одного полюса магнитной системы электродвигателя, было предложено назвать ленточной катушкой или активным ленточным элементом, так как для изготовления катушки предложено использовать тонкую электропроводящую ленту. На рисунке 9 приведена развертка ленточной катушки.

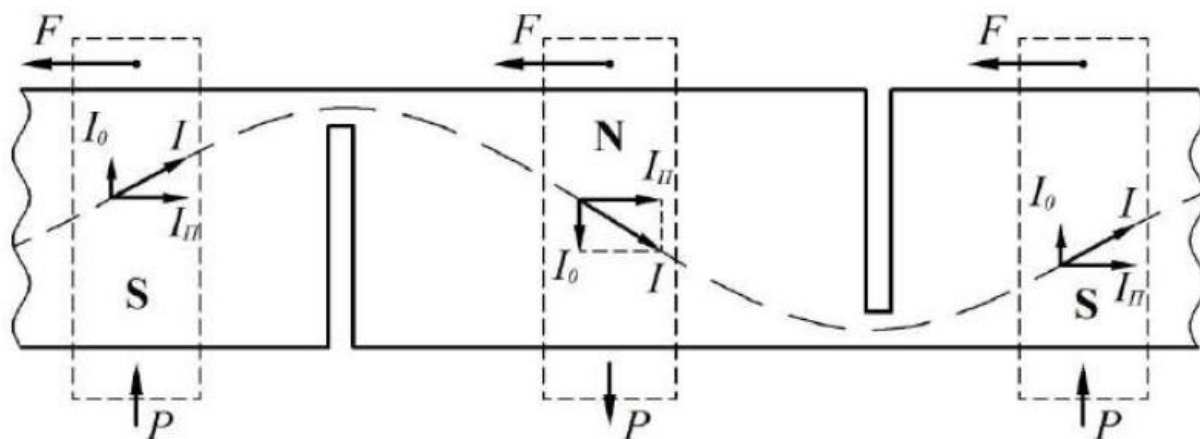


Рисунок 8 – Развертка ленточной катушки

Поперечные боковые вырезы формируют диагональный характер протекания тока I по элементам ленты между вырезами. Как указывалось ранее, распределенный ток I будет иметь две компоненты, в данном случае, продольную I_n и осевую I_o [24]. Предполагается, что полюсы магнитной системы ротора двигателя N и S находятся над плоскостью рисунка 8. При этом сила F , действующая на источник магнитного поля, будет появляться при взаимодействии осевых компонент тока I_o с магнитным полем, а суммарное действие этих сил вызовет появление момента, который будет стремиться повернуть магнитную систему относительно ленточной катушки, которая неподвижна и связана с корпусом двигателя. Силы P , вызванные продольными компонентами полного тока I_n будут действовать со стороны магнита на опоры

его подвеса. При одной паре полюсов магнитной системы эти силы создадут радиальную нагрузку на опоры подвеса двигателя. При большем числе пар полюсов будет происходить взаимная компенсация данных сил в осевом направлении, и соответственно отсутствовать радиальная нагрузка на опоры подвеса двигателя. В случае неизменной величины пропускаемого по катушке тока, развиваемый двигателем момент M будет зависеть от числа витков ленточной катушки N .

Ленточная катушка при наличии хорошего отвода тепла на корпус двигателя будет являться вполне работоспособным элементом конструкции.

3.2. Электрическое сопротивление пластины

При исследовании моментного двигателя с ленточной катушкой [24] возникает необходимость определения влияния геометрических параметров ленточной катушки на характеристики двигателя. Применение ленточной катушки с боковыми вырезами в моментном двигателе позволяет повысить удельные характеристики последнего за счет увеличения протекающего через катушку тока. При таком варианте обеспечивается хороший теплоотвод и возможность получения желаемой функциональной зависимости «момент-угол поворота ротора» [11]. В частности, при изменении числа пар полюсов магнитной системы двигателя при заданных и неизменных прочих габаритных размерах двигателя, будет меняться длина единичной пластины, составляющей часть витка. Ряд исследований показал, что при этом меняется и сопротивление пластины [11].

Аналитические исследования были проведены с помощью программного продукта конечно элементного моделирования COMSOL Multiphysics.

При моделировании задачи в модуле Electric Currents COMSOL Multiphysics построена геометрическая модель медной пластины толщиной $\Delta=10^{-4}$ м шириной $b=0,05$ м. Длина пластины a_i изменялась от начального значения $a_1=0,135$ м (рисунок 9).

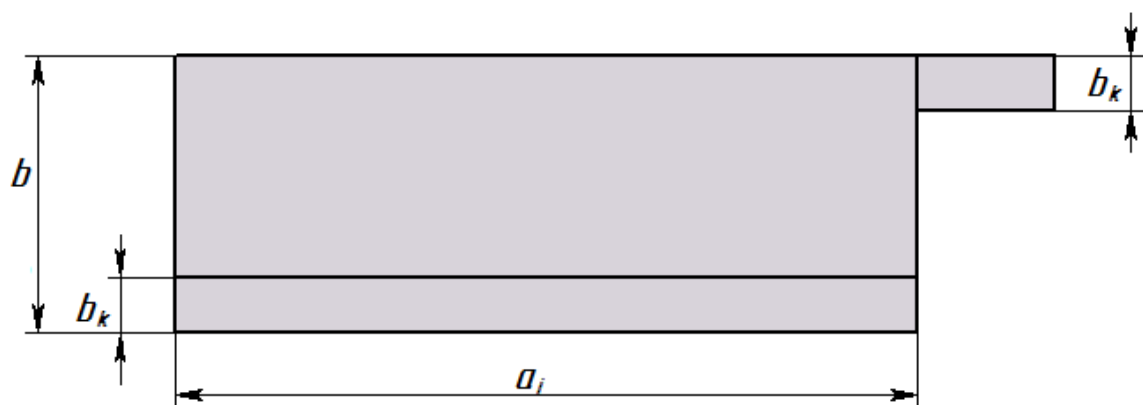


Рисунок 9 – Геометрическая модель пластины

Сопротивление пластины определялось при различных соотношениях длины a_i и ширины b пластины $\beta=a/b$. При этом ширина b в каждом случае была постоянной. Расчет сопротивления пластины проводился следующим образом: задавалась разность потенциалов контактов $U=10^{-3}$ В, определялся интеграл нормальной плотности тока по поверхности правого контакта и по закону Ома определялось сопротивление пластины с учетом сопротивления правого контакта. Увеличенная длина правого контакта позволила более точно определить ток, который протекает по пластине. Это объясняется тем, что в COMSOL ток через контактную поверхность можно определить через нормальную плотность тока. В левой части пластины рисунок 9 при определении тока через контакт, тангенциальная компонента тока существенно искажает результаты расчетов. Однако выяснено, что при длине правого контакта 20-25 мм, разница между вычисленными значениями тока, втекающего в пластину через правый контакт и вытекающего через левый, доходит до 8% [25]. Сопротивление правого контакта определено отдельно, его вычитание из полного сопротивления дает возможность узнать сопротивление пластины при протекании по ней распределенного тока. Характер изменения сопротивления пластины от соотношения ее длины и ширины был получен для ширины контакта $b_k=10$ мм рисунок 10.

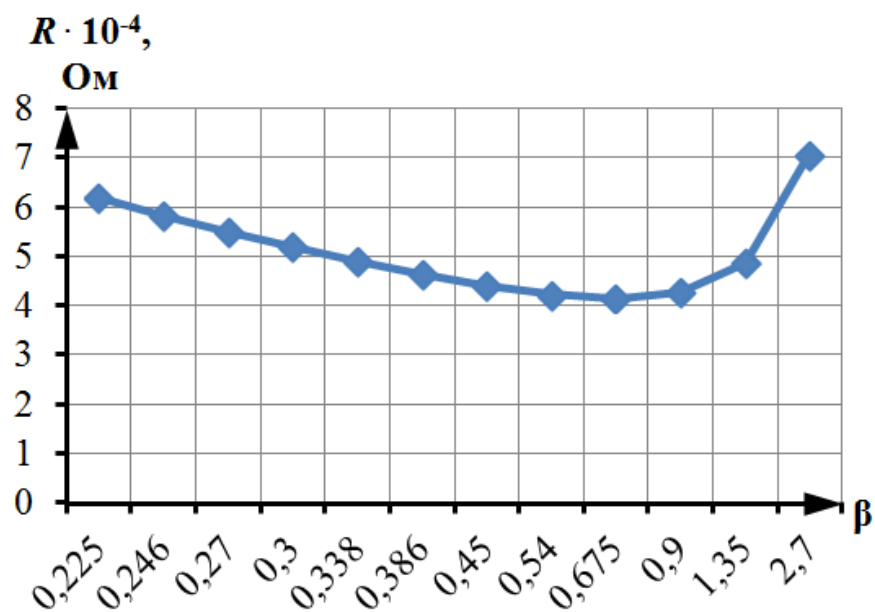


Рисунок 10 – Зависимость сопротивления единичной пластины от соотношения ее длины и ширины

Полученная кривая имеет минимум сопротивления при некотором соотношении длины и ширины пластины β .

Полученные результаты должны быть подтверждены экспериментально.

4 Численное моделирование теплового режима намотки

В основе теплового расчета пластины численным методом лежит модель пластины, включающая в себя ленточную намотку моментного двигателя. Расчет проводится с использованием программы COMSOL Multiphysics.

В ходе расчета определяется температурное поле пластины.

Тепловой расчет численным моделированием состоял из следующих этапов:

1. Выбор размерности пространства для модели – 2D Axisymmetric (Двумерное аксиально-симметричное)
2. Выбор задач для решения теплового расчета
3. Выбор исходных данных геометрических размеров пластины
4. Выбор материала
5. Задача граничных условий
6. Разбиение модели на сетку конечных элементов
7. Анализ результатов. Использование макросов для расчета.

Рассматривалось 3 варианта геометрии пластины. Толщина пластины изначально задавалась $7 \cdot 10^{-5}$ м.

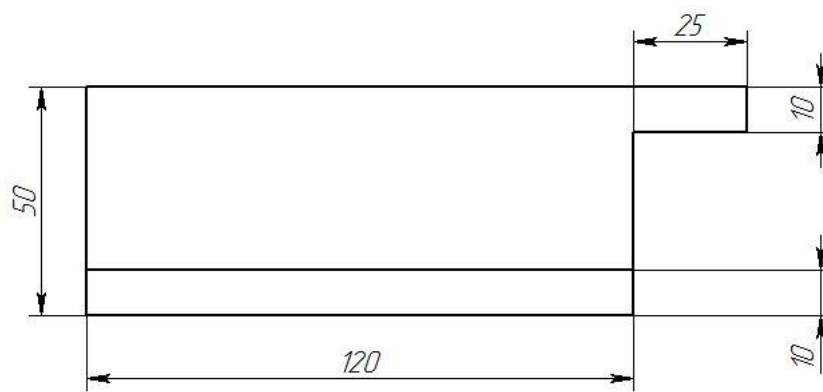


Рисунок 11 – Геометрическая модель пластины № 1

На рисунке 11 представлена геометрическая пластина №1, данная пластина не симметрична, она позволяет рассчитать сопротивление.

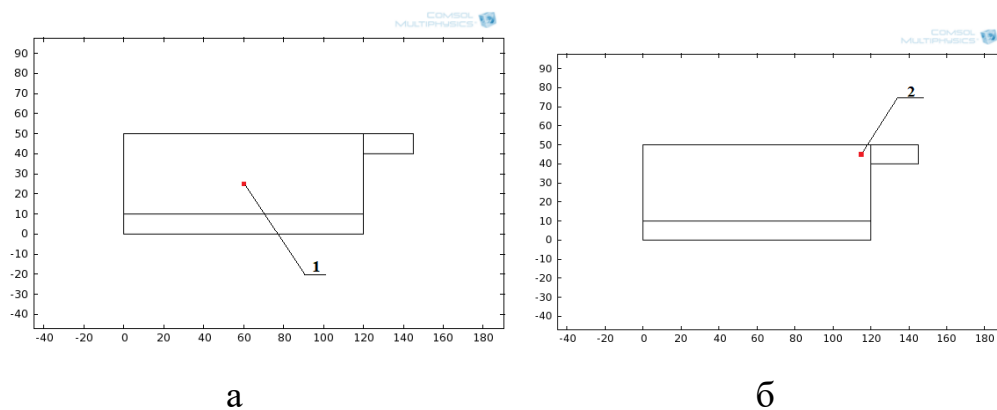


Рисунок 12 – Расположение точек на пластине а) – центральная точка б) точка на электроде

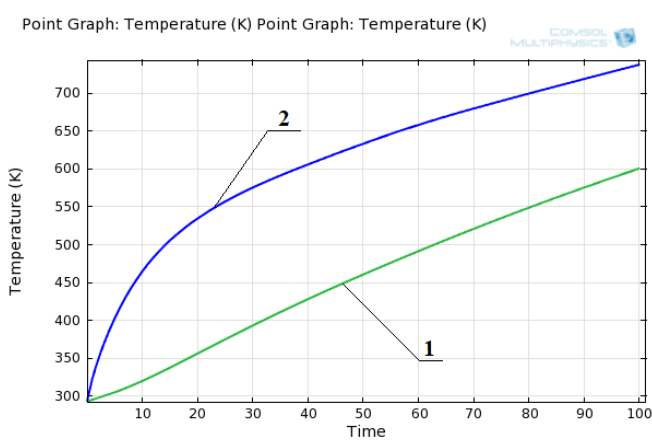


Рисунок 13 – Изменение температуры в контрольных точках пластины №1 от времени протекания тока 50 А

При 50 А

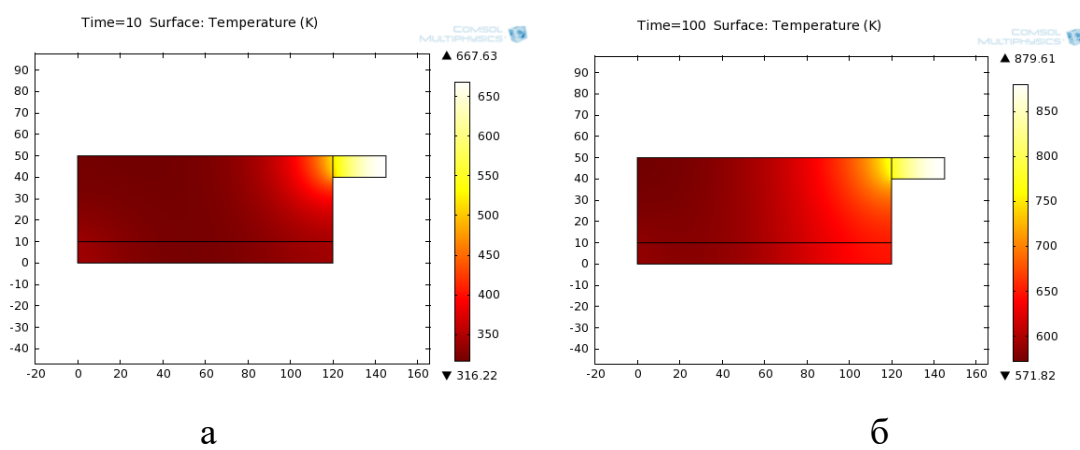


Рисунок 14 – Распределение тепловых участков на пластине а) $t = 10$ сек; $I = 50$ А б) $t = 100$ сек; $I = 50$ А

На рисунке 14 приведена картина распределения теплового поля по пластине. Как видно из рисунка распределение тепловых участков на данной пластине – неравномерно. Нагрев происходит только в зоне электрода.

Результаты численного моделирования (Comsol) для пластины №1 приведены в таблице №1

Таблица1 – Температура в контрольных точках в зависимости от времени протекания тока

$I = 50 \text{ A}$										
t, сек	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
t°C(ц)	47.1	83.2	120.3	155.1	187	218.4	247.8	245.8	302.3	307.6
t°C	190.9	261.4	282.4	332.6	360	384.9	406.5	426.5	445.6	463.9

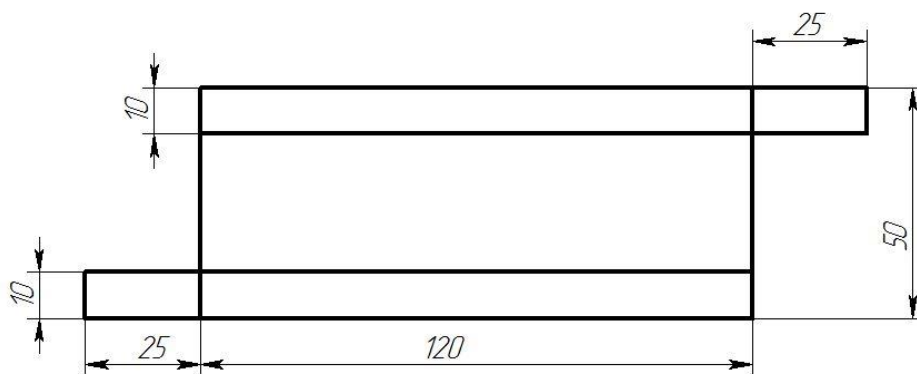


Рисунок 15 – Геометрическая модель пластины № 2

На рисунке 15 представлена пластина №2, данная пластина симметрична.

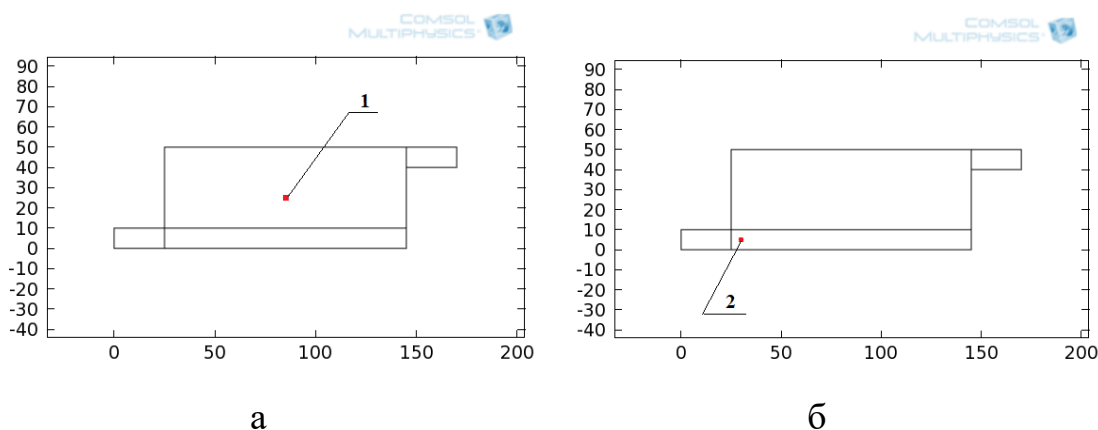


Рисунок 16 – Расположение точек на пластине а) – центральная точка б) точка на электроде

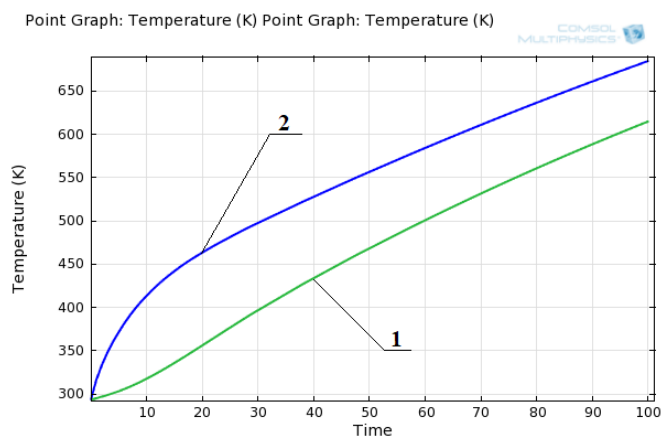


Рисунок 17 – Изменение температуры в контрольных точках пластины №2 от времени протекания тока 50 А
При 50 А

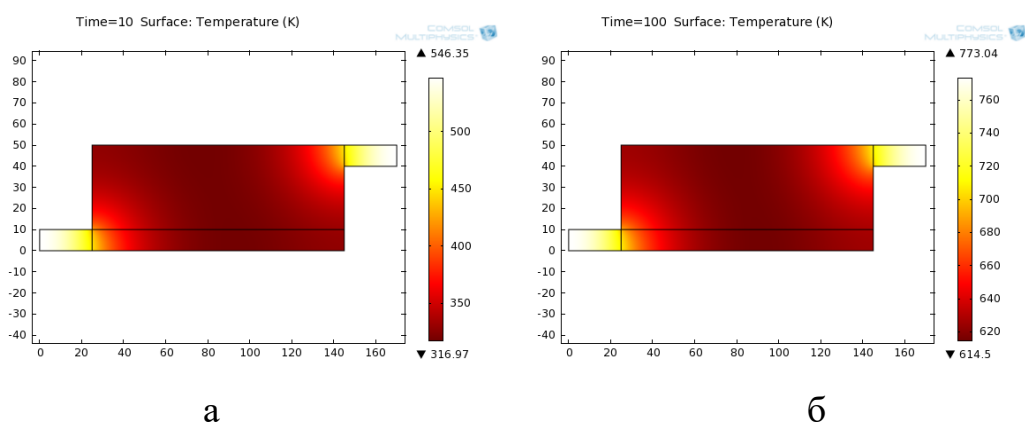


Рисунок 18 – Распределение тепловых участков на пластине а) $t = 10$ сек; $I = 50$ А б) $t = 100$ сек; $I = 50$ А

Результаты численного моделирования (Comsol) для пластины №2 приведены в таблице №2

Таблица2 – Температура в контрольных точках в зависимости от времени протекания тока и его величины

$I = 25$ А										
t, сек	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$t^{\circ}\text{C}(\mathbf{u})$	28.6	41.9	56.1	70.1	83.7	96.9	109.6	121.8	133.6	145.6
$t^{\circ}\text{C}$	56.1	74.8	89.3	102.5	114.9	127.1	138.8	150.2	161.2	171.7
$I = 40$ А										
$t^{\circ}\text{C}(\mathbf{u})$	37	65	95	123.8	151.4	176.6	200.2	222.5	243.9	264.5
$t^{\circ}\text{C}$	102.9	140.9	168.7	192.5	215.3	237.2	258.2	278.3	297.6	315.9
$I = 50$ А										
$t^{\circ}\text{C}(\mathbf{u})$	44.5	82.95	123.6	160.7	195.2	227.6	238.5	287.6	315.3	341.7
$t^{\circ}\text{C}$	140.2	190.2	224.5	254.6	283.4	311.2	337.7	363.5	387.9	411.5

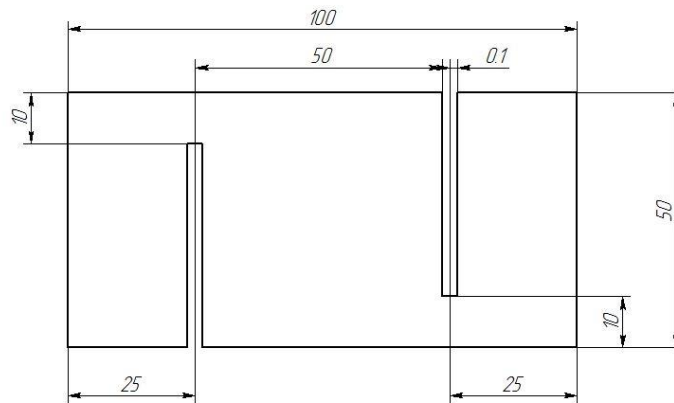


Рисунок 19– Геометрическая модель пластины № 3

На рисунке 19 представлена пластина №3, данная пластина симметрична. Ширина вырезов не очень существенна мало повлияют на температуру. Наиболее реальное изготовление макета.

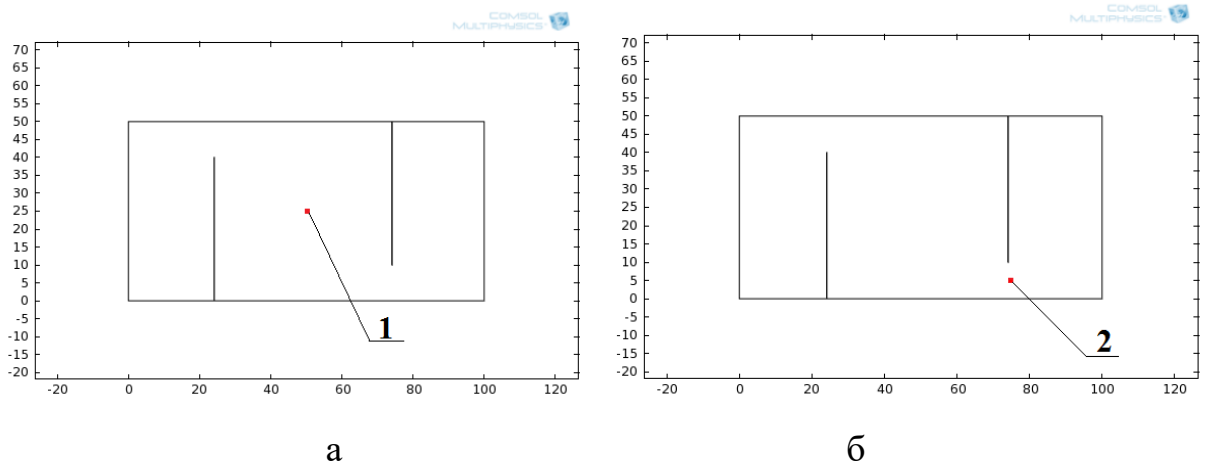


Рисунок 20 – Расположение точек на пластине а) – центральная точка б) точка на электроде

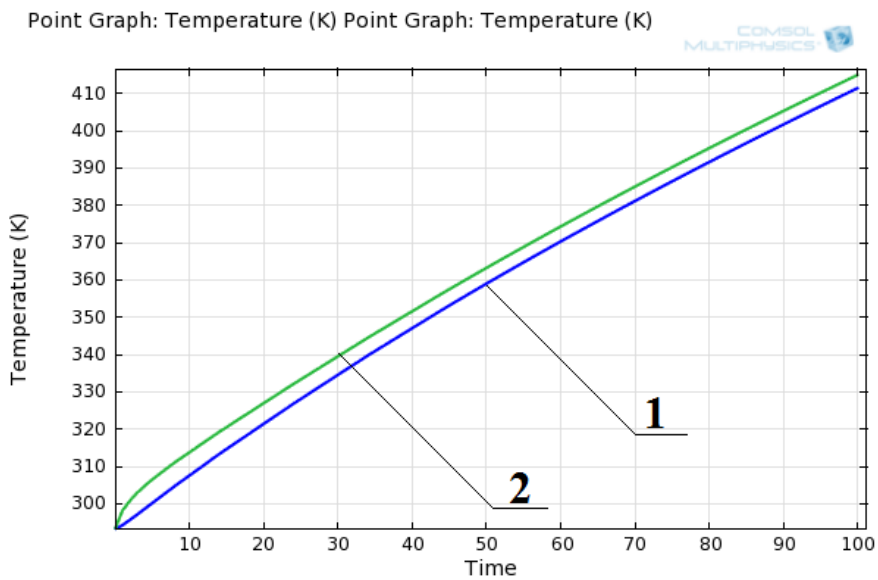
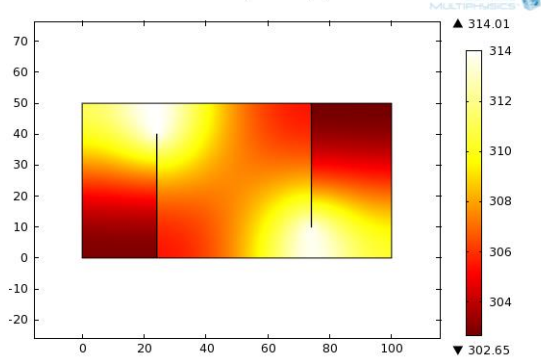


Рисунок 21 – Изменение температуры в контрольных точках пластины №3 от времени протекания тока

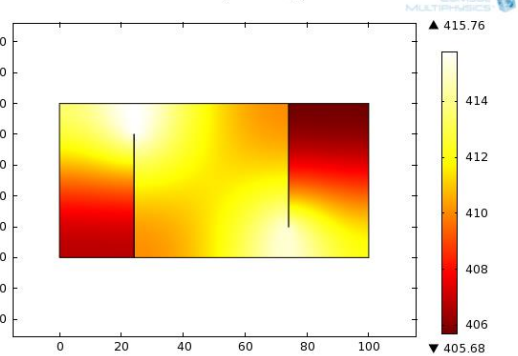
При 25 А

Time=10 Surface: Temperature (K)



а

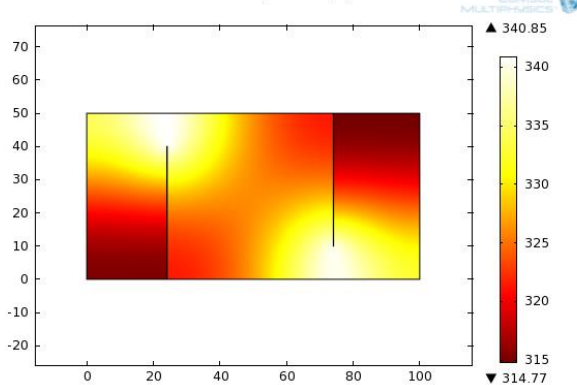
Time=100 Surface: Temperature (K)



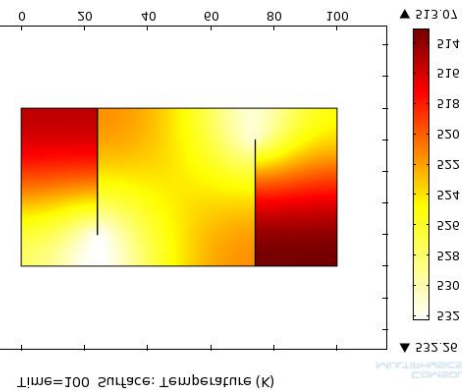
б

При 40 А

Time=10 Surface: Temperature (K)

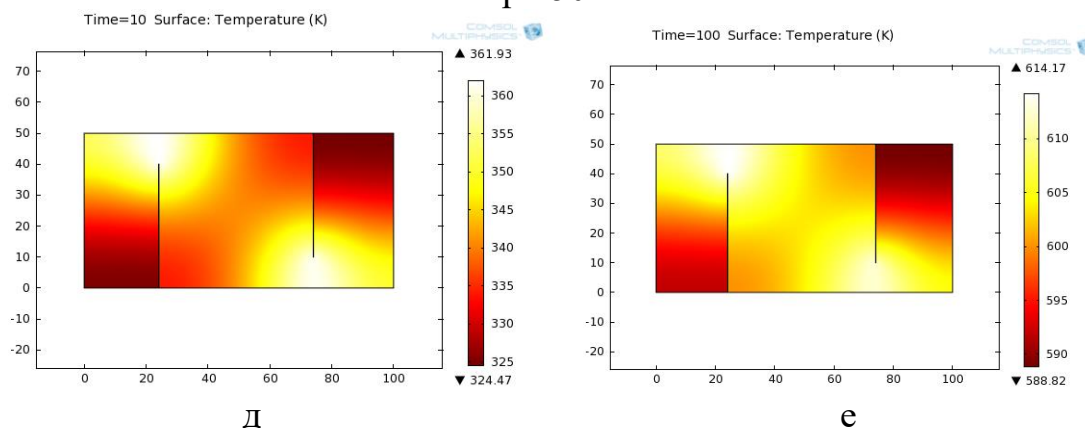


в



г

При 50 А



д

е

Рисунок 22 – Распределение тепловых участков на пластине

а) $t = 10$ сек; $I = 25$ А б) $t = 100$ сек; $I = 25$ А

в) $t = 10$ сек; $I = 40$ А г) $t = 100$ сек; $I = 40$ А

д) $t = 10$ сек; $I = 50$ А е) $t = 100$ сек; $I = 50$ А

На рисунке 22 приведена картина распределения теплового поля по пластине. Как видно из рисунков, интенсивность теплового потока неравномерна и возрастает в зоне, где вырезы.

Результаты численного моделирования (Comsol) для пластины №3 приведены в таблице №3

Таблица 3 – Температура в контрольных точках в зависимости от времени протекания тока и его величины

<i>I = 25 А</i>										
t, сек	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
t°C(ш)	34.4	48.3	61.2	73.9	85.9	97.2	108.1	118.5	128.6	138.4
t°C	40.6	53.8	66.4	78.5	90.1	101.2	111.9	122.2	132.2	141.8
<i>I = 40 А</i>										
t°C(ш)	52.9	82.6	108.7	132.6	154.8	175.9	196.2	215.3	233.6	250.9
t°C	67.1	94.4	118.9	141.8	163.4	183.9	203.6	222.4	240.4	257.6
<i>I = 50 А</i>										
t°C(ш)	67.5	108.5	144.3	177.1	207.2	250.1	260.9	285.4	308.5	330.4
t°C	87.8	124.9	158.6	189.3	218.3	245.4	270.65	294.7	317.4	338.9

5 Экспериментальные исследования элементов ленточной намотки

5.1. Сопротивление единичной пластины. Зависимость электрического сопротивления пластины распределенному току от ее длины

Для подтверждения результатов численного моделирования были проведены экспериментальные исследования сопротивления пластины. На рисунке 23 показан вид экспериментальной установки, состоящей из алюминиевой ленты, разделенной с помощью боковых вырезов на несколько пластин. Лента подключена к миллиомметру «Е6-18/1», для измерения сопротивления цепи.



Рисунок 23 – Вид экспериментальной установки

Сопротивление единичной пластины получено делением полного сопротивления на количество пластин. Ширина алюминиевой ленты $b=0,05$ м, ее толщина $\Delta=0,0007$ м и ширина контакта $b_k=10$ мм – задавались неизменными. Длина пластин a менялась согласно таблице 4. Полученные результаты представлены в таблице 4 и на графике рисунка 24.

Таблица 4 – Сопротивление пластины при различной длине

a , м	0,0120	0,0165	0,0360	0,0500	0,1080
R , Ом	0,0041	0,0033	0,0028	0,0031	0,0042

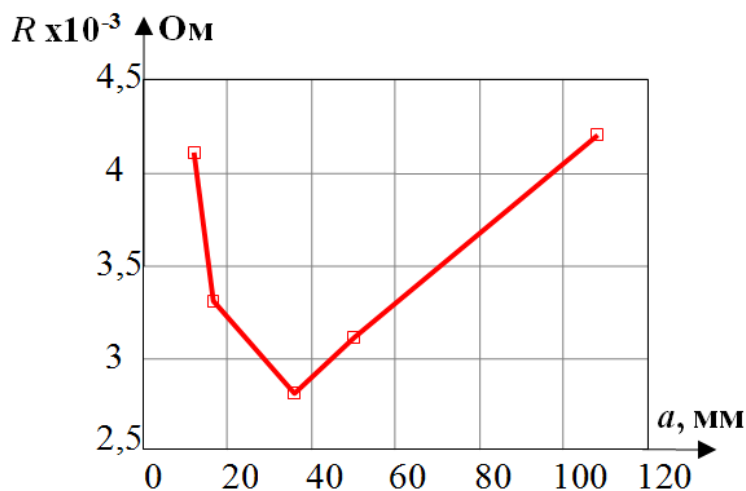


Рисунок 24 – График зависимости сопротивления от длины пластины

Минимальное сопротивление пластины наблюдается при длине $a=36$ мм. Соотношение длины и ширины пластины при этом равно $\beta=36/50=0,72$. Полученное значение близко к полученному в результате численного моделирования минимальному сопротивлению пластины (0,68). Проведенные исследования показывают при каких геометрических параметрах единичной пластины ленточной намотки будет наблюдаться минимальное сопротивление, а, следовательно, и больший ток, который позволит моментному двигателю обеспечить наибольший развиваемый момент.

5.2. Экспериментальное исследование теплового режима пластины

Одним из эксплуатационных преимуществ моментного двигателя с ленточной намоткой является возможность пропуска по последней достаточно большого тока. В местах, где выполнены вырезы, происходит резкое увеличение плотности тока и интенсивное выделение тепла. Повышенная токовая нагрузка рассматриваемого двигателя объясняется тем, что вблизи зон повышенного тепловыделения находятся области, в которых это тепло поглощается и рассеивается.

В предыдущей части была рассмотрена оценка теплового состояния пластины численным моделированием. Для подтверждения полученных результатов теплового расчета численным методом были проведены экспериментальные исследования зависимости изменения температуры

пластины с поперечными боковыми вырезами от времени протекания тока при различных условиях:

а) непосредственные замеры температуры поверхности пластины в средней части и у поперечного выреза;

б) замеры температуры поверхности пластины через диэлектрическую среду в средней части и у поперечного выреза;

в) непосредственные замеры температуры поверхности пластины в средней части и у поперечного выреза с помощью термометра сопротивления;

г) замеры температуры медных катушек, намотанных в средней части и у поперечного выреза пластины.

Про термопары и термометры сопротивлений

Термопара – устройство, основанное на преобразовании электрического сигнала в показатель температуры при изменении физических параметров веществ, из которых состоит прибор. Термопара состоит из пары проводников из отличающихся материалов, соединенных между собой только с одной стороны

Действие прибора построено на эффекте Зеебека (термоэлектрической эффект) [26].

Термометр сопротивления ТС – это датчик температуры, устройство которого основано на свойствах металлов изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры. Преимущество термометра сопротивления: высокая точность измерения температуры и стабильность показаний, возможность автоматической записи и передачи показаний на расстояние [27].

Измерения температуры проводились с использованием термопары и мультиметра VC 9808, имеющего функциональную возможность для измерения температуры.

Погрешность прибора представлена в таблице – 5.

Таблица 5 – Показания мультиметра

Диапазон	Точность	Разрешающая способность
(-40-1000) °C	$\pm(0.8\% + 4) < 400^{\circ}\text{C}$ $\pm(1.5\% + 15) \geq 400^{\circ}\text{C}$	1°C

В качестве диэлектрической среды использовалась полиметилсилоксановая жидкость (ПМС), имеющая более высокие электроизоляционные свойства в сравнении с минеральными и синтетическими маслами.

Перед началом всех измерений температура пластины 22°C. Интервал измерения температуры 10 секунд. Первый замер производился после окончания 10 секунд с момента включения установки.

Ниже представлена электрическая схема и фотография экспериментальной установки

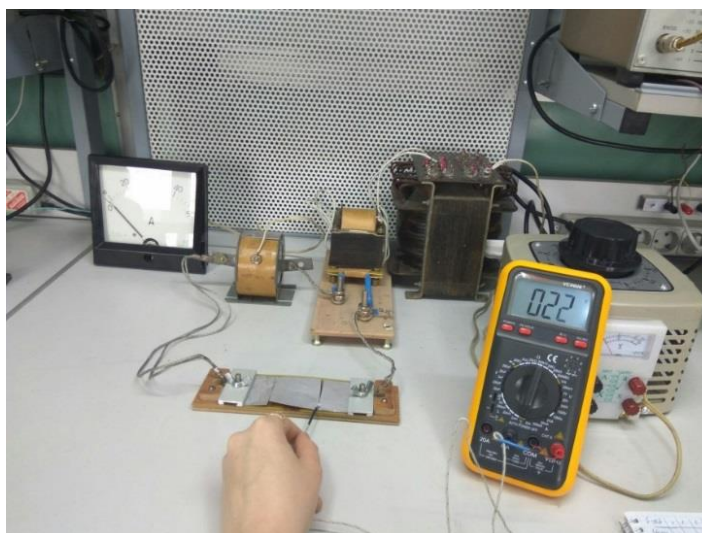


Рисунок 25– Фотография оборудования для проведения экспериментальных работ над макетным образцом – пластины

На рисунке 25 показаны лабораторный автотрансформатор, понижающие трансформаторы, прибор действующего значения, устройство для установки пластины, мультиметр VC 9808.

По исследуемой пластине пропускался переменный ток до 50 А, и через каждые 10 секунд определялась искомая температура.

Исследования начинались с 10 секунд, после включения прибора.

Экспериментальное исследование:

Таблица 6 – Зависимость температуры нагрева в средней части пластины и у поперечного выреза пластины от времени протекания тока при выполнении условия: непосредственные замеры температуры поверхности пластины в средней части и у поперечного выреза

<i>I = 25 A</i>										
t, сек	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
t°C (ц)	28	30	34	35	36	37	38	39	40	41
t°C	36	42	47	48	51	53	55	57	58	60
<i>I = 40 A</i>										
t°C (ц)	36	41	53	56	58	63	65	65	66	66
t°C	40	60	86	105	120	127	130	134	138	142
<i>I = 50 A</i>										
t°C(ц)	49	64	68	79	84	88	91	94	96	98
t°C	102	117	126	138	151	167	173	179	186	200

Таблица 7 – Зависимость температуры нагрева в средней части пластины и у поперечного выреза пластины от времени протекания тока при выполнении условия: замеры температуры поверхности пластины через диэлектрическую среду в средней части и у поперечного выреза

<i>I = 25 A</i>										
t, сек	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
t°C(ц)	30	32	34	35	36	37	38	38	39	40
t°C	32	42	44	48	52	55	57	58	59	60
<i>I = 40 A</i>										
t°C(ц)	35	41	44	47	48	52	54	56	58	60
t°C	56	77	83	94	102	110	118	120	124	128
<i>I = 50 A</i>										
t°C(ц)	38	49	52	55	60	64	72	77	79	80
t°C	90	107	116	125	139	149	159	172	187	198

Таблица 8 – Зависимость температуры нагрева и сопротивления средней части пластины у поперечного выреза пластины от времени протекания тока при выполнении условия: непосредственные замеры температуры поверхности пластины в средней части и у поперечного выреза с помощью термометра сопротивления

$I = 25 \text{ A } \Delta = 91.1^\circ\text{C}$										
t, сек	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
R, Ом	3.93	4.05	4.07	4.09	4.10	4.12	4.13	4.14	4.15	4.16
t°C	27.9	35.3	36.5	37.7	38.3	39.4	40.01	40.6	41.2	41.7
$I = 40 \text{ A } \Delta = 92.8^\circ\text{C}$										
R, Ом	4.08	4.12	4.20	4.28	4.32	4.38	4.48	4.52	4.58	4.60
t°C	37.1	39.4	44.1	48.4	50.5	53.6	58.6	60.6	63.4	64.3
$I = 50 \text{ A } \Delta = 96.6^\circ\text{C}$										
R, Ом	4.18	4.38	4.48	4.62	4.74	4.80	4.84	4.90	4.98	5.08
t°C	42.9	53.6	58.6	65.3	70.7	73.3	75.1	77.5	80.7	84.6

Используя термометр сопротивления, мы измеряем сопротивление проволоки, они нам дают не температуру, а приращение температуры.

$$R_1 = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (6)$$

где $\alpha = 3.9 \cdot 10^{-3}$ – температурный коэффициент меди

Зная параметры, по известной формуле (6) зависимости сопротивления от температуры. Найдем приращение температуры (7)

$$\Delta t = \frac{\Delta R}{R_0 \cdot \alpha} \quad (7)$$

Используя формулу (6), зная начальную температуру и сопротивление, определим температуру в пройденный промежуток времени

$$T = \left(\frac{R - R_0}{\alpha \cdot R_0} \right) + T_0 \quad (8)$$

В качестве датчика использовалась обмотка на электроде с датчиком $R_0 = 3.84$ Ом

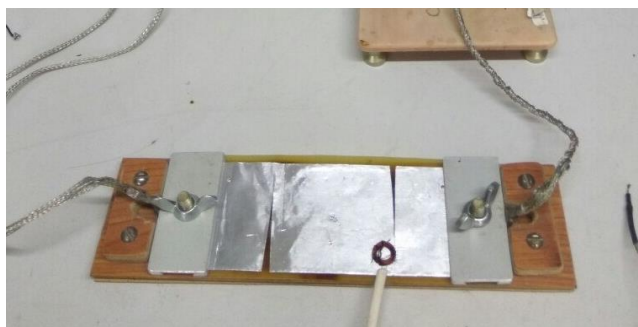


Рисунок 26 – Исследуемая пластина

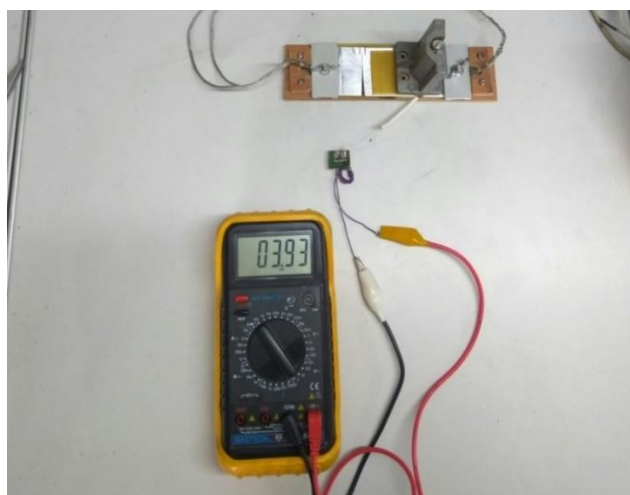


Рисунок 27– Сопротивление термометра сопротивления при 22⁰С R0=3.93Ом

Таблица 9 – Зависимость температуры нагрева и сопротивления катушки от времени протекания тока при выполнении условия: замеры температуры медных катушек, намотанных у поперечного выреза пластины

$I = 25 \text{ A } \Delta = 231.7^{\circ}\text{C}$										
t, сек	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
R, Ом	1.39	1.48	1.51	1.53	1.54	1.56	1.56	1.57	1.58	1.58
t[°]С	36.8	51.5	56.1	58.9	60.3	63.1	63.1	64.5	65.8	65.8
$I = 40 \text{ A } \Delta = 256.8^{\circ}\text{C}$										
R, Ом	1.50	1.75	1.85	1.88	1.91	1.94	1.97	1.98	2.03	2.06
t[°]С	54.5	86.5	96.8	99.7	102.5	105.3	107.9	108.8	112.9	115.4
$I = 50 \text{ A } \Delta = 260.3^{\circ}\text{C}$										
R, Ом	1.64	1.98	2.10	2.17	2.20	2.39	2.43	2.47	2.50	2.50
t[°]С	73.6	108.8	118.5	123.6	125.7	137.9	140.2	142.4	144.1	144.1

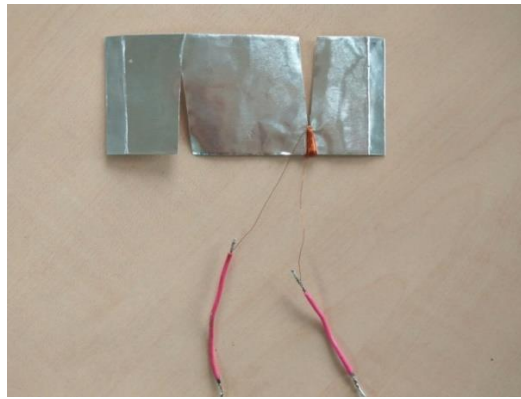


Рисунок 28 – Обмотка из медной проволоки на поперечном вырезе пластины

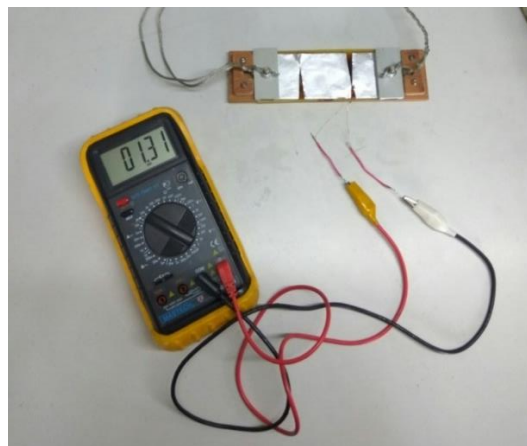


Рисунок 29 – Сопротивление проволоки при 22⁰С R₀ = 1.31Ом

Таблица 10 – Зависимость температуры нагрева и сопротивления катушки от времени протекания тока при выполнении условия: замеры температуры медных катушек, намотанных в средней части.

$I = 25 \text{ A } \Delta = 145.4^{\circ}\text{C}$										
t, сек	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
R, Ом	2.20	2.23	2.26	2.28	2.29	2.30	2.31	2.32	2.32	2.33
t⁰С	27.8	31.2	34.5	36.6	37.7	38.7	39.8	40.8	40.8	41.8
$I = 40 \text{ A } \Delta = 149.5^{\circ}\text{C}$										
R, Ом	2.30	2.44	2.49	2.53	2.56	2.58	2.60	2.61	2.62	2.63
t⁰С	38.7	52.5	57	60.5	63.1	64.7	66.4	67.2	68.1	68.8
$I = 50 \text{ A } \Delta = 160.2^{\circ}\text{C}$										
R, Ом	2.32	2.45	2.55	2.65	2.75	2.79	2.81	2.86	2.88	2.90
t⁰С	40.8	53.4	62.2	70.4	77.9	80.8	82.2	85.7	87.1	88.3

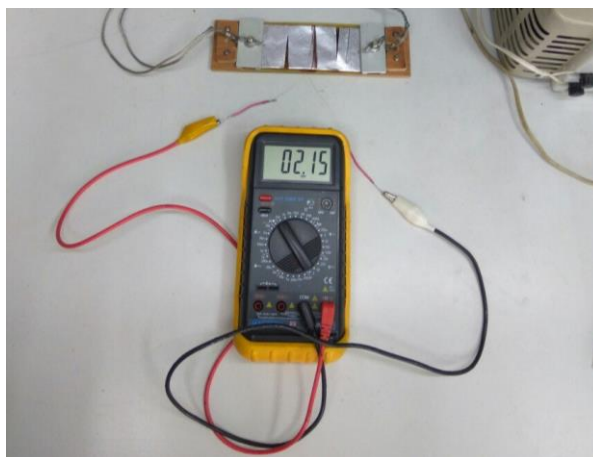


Рисунок 30 – Сопротивление проволоки, намотанной на среднюю часть пластины, при 22⁰С R0 = 2.15Ом

Измерения температуры теплонапряженных участков производились как с помощью термопары, входящей в состав электронного мультиметра VC9808 и термометра сопротивления.

На основании таблиц 6-9 построены графики: рисунок 31-36, по результатам численного моделирования и экспериментального исследования.

Характер изменения температуры при увеличении тока в центральной зоне различными датчиками температуры;

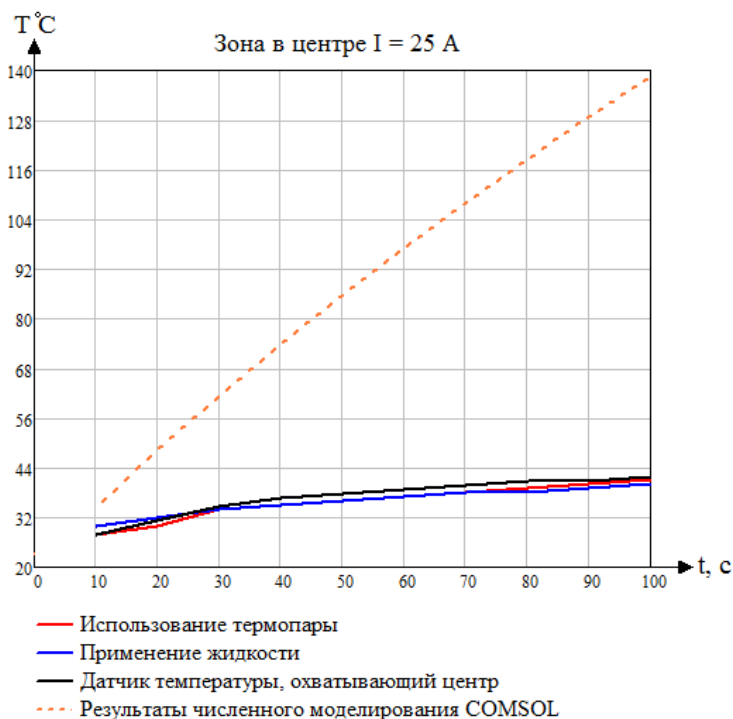


Рисунок 31 – График изменения во времени температур в центральной части пластины

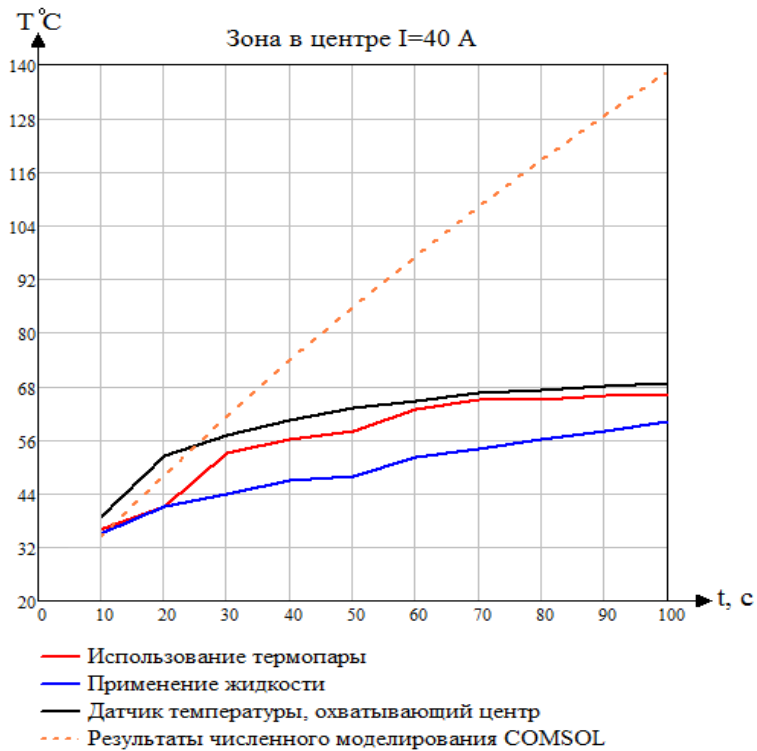


Рисунок 32 – График изменения во времени температур в центральной части пластины

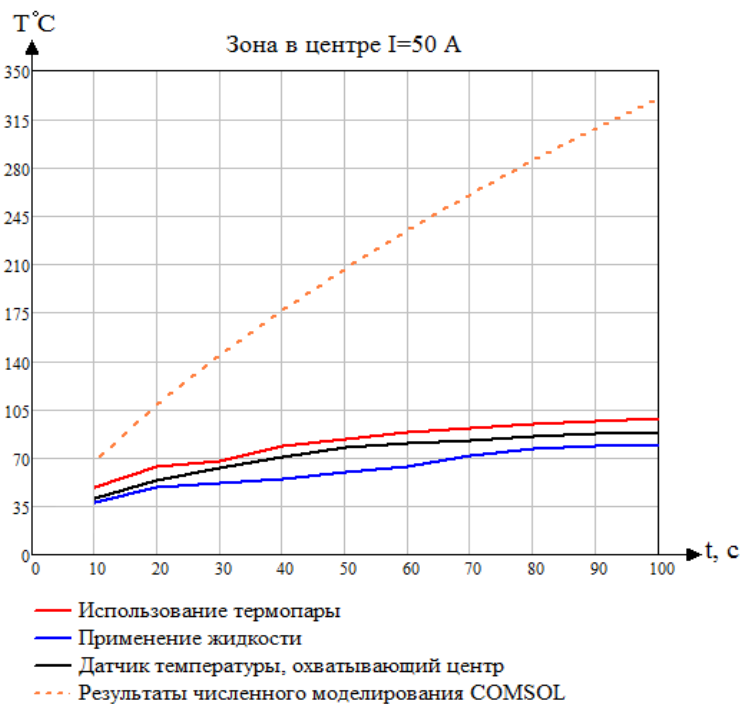


Рисунок 33 – График изменения во времени температур в центральной части пластины

Характер изменения температуры при увеличении тока около электродной зоны различными датчиками температуры:

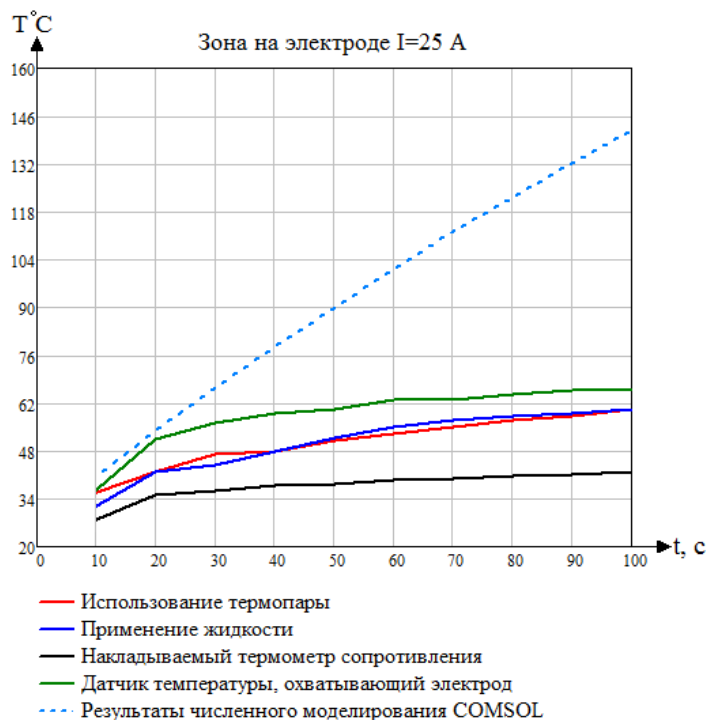


Рисунок 34 – График изменения во времени температур на электроде пластины

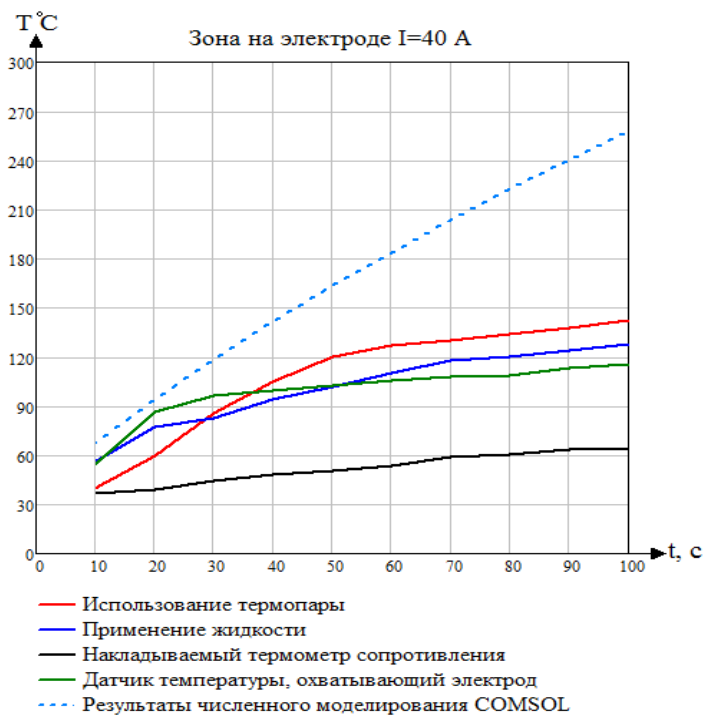


Рисунок 35 – График изменения во времени температур на электроде пластины

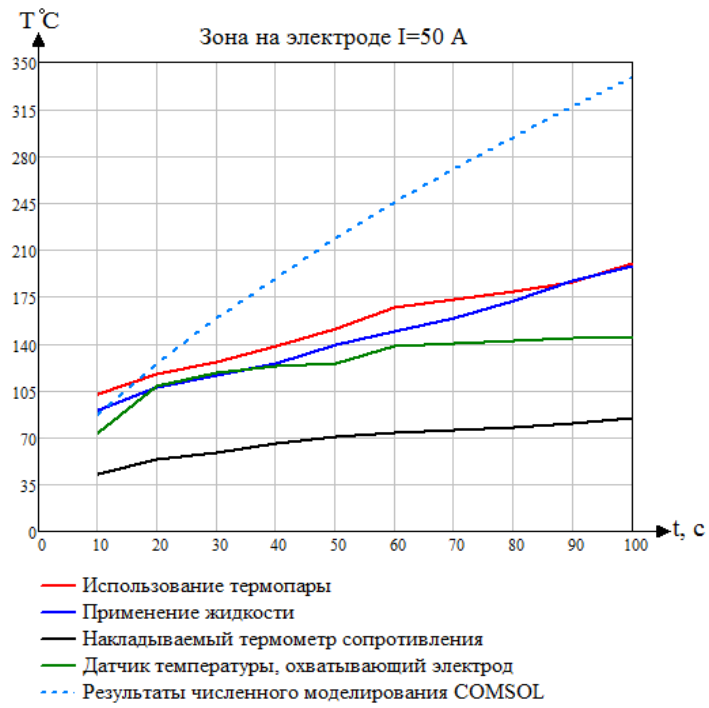


Рисунок 36 – График изменения во времени температур на электроде пластины

5.3. Выводы по разделу

Полученные результаты, представленные в виде таблиц и графиков, показывают, что величины, найденные экспериментальным путем достаточно близки, а вот величина, полученная численным моделированием имеет большое отклонение по сравнению с экспериментальными исследованиями. Это можно объяснить тем, что при численном моделировании не учитывались некоторые факторы характера охлаждения.

Наиболее реальный подход для исследования является применение обмотки термометра сопротивления в зоне электрода, так как он дает среднее значение по сравнению с другими методами исследования.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки.

Цель исследования – определение потребности в интеллектуальных и материальных ресурсах, необходимых для проведения комплекса этих работ. Достижение цели обеспечивается следующим решением задач:

- Определение потенциальных потребителей результатов работы;
- Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- Определение сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта;
- Планирование научно-исследовательского проекта и определение контрольных событий;
- Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта;

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Для этого рассмотрим существующие моментные двигатели, «Harmonic drive», «Siemens», «ETEL».

Сегментировать рынок услуг по разработке уровнемеров можно по следующим критериям: ценовой диапазон прибора и фирма выпускаемой продукции. Ценовой диапазон двигателей делится следующим образом:

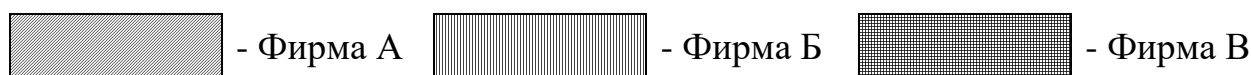
- высокий (от 50 тыс. рублей);
- средний (от 20 – 50 тыс. рублей);

– низкий (до 20 тыс. рублей).

На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка.

		Фирмы моментных двигателей		
		«Siemens»	«EDEL»	«Harmonic drive»
Ценовой диапазон	Высокий			
	Средний			
	Низкий			

Рисунок 37 – Карта сегментирования рынка услуг по измерению уровня жидких сред:



Целевым рынком для данной разработки являются компании, которые занимаются изготовлением моментных двигателей с ленточной намоткой. На карте сегментирования рисунок 37 можем проанализировать какая ниша на рынке услуг не занята конкурентами и где уровень конкуренции низок.

Таким образом, целесообразно разработать прибор для измерения уровня в низком ценовом диапазоне, чтобы быть конкурентоспособным перед другими изготовителями.

6.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для сравнения конкурентоспособности объекта исследования, были выбраны два прибора разных изготовителей:

- «Harmonic drive»;
- «Siemens».

Таблица 11 – Оценочная карта для сравнения конкурентных приборов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,068	4	4	4	0,4	0,4	0,4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,098	5	4	3	0,5	0,4	0,3
3. Помехоустойчивость	0,02	3	4	4	0,3	0,4	0,4
4. Энергоэкономичность	0,05	4	3	3	0,4	0,3	0,3
5. Надежность	0,08	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6. Уровень шума	0,012	2	1	1	0,2	0,1	0,1
7. Безопасность	0,09	5	3	4	0,5	0,3	0,4
8. Потребность в ресурсах памяти	0,025	3	4	1	0,3	0,4	0,1
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,013	2	2	2	0,2	0,2	0,2
10. Простота эксплуатации	0,155	5	3	3	0,5	0,3	0,3
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,021	3	1	2	0,3	0,1	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,079	5	4	5	0,5	0,4	0,5
2. Уровень проникновения на рынок	0,018	2	4	3	0,2	0,4	0,3
3. Цена	0,2	5	1	1	0,5	0,1	0,1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,003	1	2	2	0,1	0,2	0,2
5. Послепродажное обслуживание	0	1	2	2	0,1	0,2	0,2
6. Финансирование научной разработки	0,005	2	4	4	0,2	0,4	0,4

7. Срок выхода на рынок	0	1	3	3	0,1	0,3	0,3
8. Наличие сертификации разработки	0	1	3	3	0,1	0,3	0,3
Итого	1	62	60	56	6,2	6	5,6

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i * B_i \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Анализ конкурентных технических решений (K) показал нам то, что данная разработка обладает большим значением конкурентоспособности, что позволяет судить о том, что разработка считается перспективной и ее следует развивать. Главные преимущества перед конкурентами:

- низкая стоимость прибора;
- простота использования;
- удобство в эксплуатации;
- безопасность.

Также данные преимущества позволяют удовлетворить желания целевого рынка рисунок 37.

6.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ помогает выявлять сильные, слабые стороны проекта, его возможности и угрозы. Применяют данный анализ для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

1. Сильные стороны:

Главное преимущество перед конкурентами это низкая стоимость готового прибора (до 5 тыс. руб.). Также легкость в использовании, не нужно обладать специальными знаниями или подготовкой для его эксплуатации.

2. Слабые стороны:

За счет использования недорогих составляющих для данного прибора, снизилась его длительность беззатратной эксплуатации (до 1 года). По истечению данного срока, появится необходимость калибровки и ремонта данного уровнемера, что приведет к дополнительным материальным затратам.

Возможное решение - использование чуть дорогих элементов для изготовления, но чтобы стоимость прибора оставалась ниже, чем у конкурентов. Также не использовать прибор в режиме непрерывного измерения, чтобы продлить срок эксплуатации.

3. Возможности:

Контроль и измерения уровня нефтепродуктов останется актуальным в ближайшем будущем, поэтому спрос на данную разработку будет увеличиваться. Пока использование приборов отечественного производства не пользуется особой популярностью, но с тенденцией повышения цен на импортные уровнемеры, потребность в недорогом приборе тоже возрастет.

4. Угроза:

Угрозой является то, что несмотря на низкую стоимость, данная разработка не будет востребована, т.к. у конкурентов есть своя клиентская база, которые заинтересованы в их приборах и уверены в качестве продукции.

Таблица 12 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Простота и удобство в эксплуатации.</p> <p>С5. Мобильность разработки.</p>	<p>Сл1. Отсутствие полноценного прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Присутствие дополнительных затрат при эксплуатации.</p> <p>Сл3. Отсутствие бюджетного финансирования.</p> <p>Сл4. Небольшой срок эксплуатации.</p> <p>Сл5. Использование недорогих составляющих прибора.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований.</p> <p>В5. Актуальность разработки в будущем.</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Ограничения на экспорт технологии.</p> <p>У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>		

У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.		
--	--	--

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта (возможности)

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	-	-
	B2	+	-	+	-	+
	B3	+	-	+	-	+
	B4	+	+	-	+	-
	B5	+	-	+	-	-
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	+	-	-	-	-
	B4	-	+	-	-	-
	B5	-	-	-	+	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, и слабых сторон и возможностей. Таким образом, коррелирующие сильные стороны и возможности: В1С1С2, В4С1С2С4, В5С1С3. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. В этом случае, возможности описываем следующим образом: В2В3С1С3С5.

Сильно коррелирующие слабые стороны и возможности: В2В4Сл1Сл3Сл4Сл5.

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта (угрозы)

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	+	+	+	+
	У2	+	-	+	+	-
	У3	-	-	+	-	-
	У4	-	-	+	-	-
	У5	-	-	+	-	+
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	-	-	+	-	+
	У3	+	+	-	-	+
	У4	-	-	+	-	+
	У5	+	-	-	-	+

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и угроз, и слабых сторон и угроз.

Таким образом, сильно коррелирующие сильные стороны и угрозы: У1С2С3С4С5, У2С1С3С4, У5С3С5. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В случае, когда две угрозы сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. В этом случае, угрозы описываем следующим образом: У3У4С3. Сильно коррелирующие слабые стороны и угрозы: У2У4Сл1Сл2Сл4. В рамках третьего этапа была составлена итоговая матрица SWOT-анализа (табл. 10).

Таблица 15 –SWOT - анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Простота и удобство в эксплуатации.</p> <p>С5. Мобильность разработки.</p>	<p>Сл1. Отсутствие полноценного прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Присутствие дополнительных затрат при эксплуатации.</p> <p>Сл3. Отсутствие бюджетного финансирования.</p> <p>Сл4. Небольшой срок эксплуатации.</p> <p>Сл5. Использование недорогих составляющих прибора.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований.</p> <p>В5. Актуальность разработки в будущем.</p>	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С5. Мобильность разработки.</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>	<p>Сл1. Отсутствие полноценного прототипа научной разработки.</p> <p>Сл3. Отсутствие бюджетного финансирования.</p> <p>Сл4. Небольшой срок эксплуатации.</p> <p>Сл5. Использование недорогих составляющих прибора.</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p>	<p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>У3. Ограничения на экспорт</p>	<p>Сл1. Отсутствие полноценного прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Присутствие допол-</p>

<p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Ограничения на экспорт технологии.</p> <p>У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>технологии.</p> <p>У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>	<p>нительных затрат при эксплуатации.</p> <p>Сл4. Небольшой срок эксплуатации.</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p>
---	---	--

6.4. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

6.5. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представляется в виде таблицы (табл. 16).

Таблица 16 – Календарный план проекта

№	Название	T, раб. д.	T, кален.д.	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	29	30	06.03.2017	04.04.2017	Студент – Ананьева Е.С. Руководитель – Мартемьянов В. М.
2	Поиск и изучение материала по теме	44	45	04.04.2017	20.05.2017	Студент – Ананьева Е.С.
3	Выбор направления исследований	20	24	20.05.2017	12.06.2017	Студент – Ананьева Е.С.
4	Календарное планирование работ	5	7	04.09.2017	11.09.2017	Студент – Ананьева Е.С. Руководитель – Мартемьянов В.М.
5	Изучение литературы по теме	70	81	11.09.2017	30.11.2017	Студент – Ананьева Е.С.
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	70	108	30.11.2017	19.03.2018	Студент – Ананьева Е.С.
7	Сборка и подготовка экспериментальной установки	7	10	19.03.2018	28.03.2018	Студент – Ананьева Е.С.
8	Экспериментальные исследования	7	10	28.03.2018	06.04.2018	Студент – Ананьева Е.С.
9	Изучение результатов проведенного исследования	13	18	06.04.2018	23.04.2018	Студент – Ананьева Е.С.
10	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	13	16	23.04.2018	08.05.2018	Студент – Ананьева Е.С.
11	Анализ результатов	14	18	08.05.2018	18.05.2018	Студент – Ананьева Е.С.
12	Заключение	14	18	18.05.2018	04.06.2018	Студент – Ананьева

Таблица 17 – Календарный план-график проведения диссертации по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				2017 г.							2018 г.					
				1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, студент	30	█	█											
2	Поиск и изучение материала по теме	Студент	45		█	█										
3	Выбор направления исследований	Студент	24			█	█									
4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	7				█	█								
5	Изучение литературы по теме	Студент	81				█	█	█	█						
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент	108						█	█	█	█	█			
7	Сборка и подготовка экспериментальной установки	Студент	10										█	█		
8	Экспериментальные исследования	Студент	10										█	█		
9	Изучение результатов проведенного исследования	Студент	18											█	█	
10	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Студент	16												█	█
11	Анализ результатов	Студент	18													█
12	Заключение	Студент	18													█

█ - студент; █ - научный руководитель.

6.7 Бюджет научного исследования

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

Таблица 18 - Сырье, материалы и покупные изделия

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Лента алюминиевая	50мм x50 м.	1	239	239
Соединительные провода	20 см.	40	3,25	130
Бумага белая	A4	150	1,5	225
Ручка синяя	Bruno Visconti	1	35	35
Всего за материалы				629
Транспортно-заготовительные расходы (3%)				18.8
Итого:				647.8

6.7.2 Специальное оборудование для экспериментальных работ

В данной пункте включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ.

При приобретении специального оборудования учтены затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Все расчеты по приобретению спецоборудования, сводятся в таблицу 19.

Таблица 19 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Монтаж и доставка (15%)	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1	Понижающие трансформаторы	3	21,000	3,150	21,000
2	Мультиметр VC9808	1	0,440	0,066	0,440
3	Амперметр	1	916,296	137,444	1053,740
4	Ноутбук ASUS	1	30,000	4,500	34,500
5	Выпрямительный блок	1	17,292	2,594	19,886

Итого:	1129,566
--------	----------

6.7.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников непосредственно участвующих в выполнении работ по теме.

Величина расходов по заработной плате определена исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 20.

Таблица 20 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс.руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, студент	33	3,216 0,636	106,128 20,988
2	Поиск и изучение материала по теме	Студент	58	0,636	36,888
3	Выбор направления исследований	Студент	115	0,636	73,14
4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	7	3,216 0,636	22,512 4,452
5	Изучение литературы по теме	Студент	81	0,636	51,516
6	Анализ схем по емкостному методу	Студент	108	0,636	68,688
7	Разработка принципиальной схемы	Студент	73	0,636	46,428
8	Подбор элементной базы	Студент	33	0,636	20,988
9	Сборка экспериментальной разработки	Студент	22	0,636	13,992
10	Экспериментальные исследования	Студент	43	0,636	27,348
11	Изучение результатов проведенного исследования	Студент	22	0,636	13,992

12	Анализ результатов	Студент	33	0,636	20,988
13	Заключение	Студент	17	0,636	10,812
Итого:					538,86

Этот пункт включает основную заработную плату научного руководителя и студента, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (12)$$

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

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

Максимальная основная заработная плата за 2 года магистратуры: руководителя (доцент) равна примерно 767980,8 рублей, а студента 170193,6 рублей.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (студента) рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб} \quad (13)$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (табл.16);

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м*М}}{F_{д}} \quad (14)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

при отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6 – дневная неделя;

при отпуске в 24 раб.дня $M=11,2$ месяца, 5 – дневная неделя.

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (табл.16).

Таблица 21 – Баланс рабочего времени в течении магистратуры

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	730	730
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	236	236
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	96	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	398	446

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_б * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p, \quad (15)$$

где $Z_б$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15 - 20 % от $Z_б$);

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

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	0,3	0,5	1,3	61542	3216	398	1279968
Студент	6500	0,3	0,2	1,3	12675	636	446	283656

6.7.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} \quad (16)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата работника, руб.

Таблица 23 – Дополнительная заработная плата

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб.	1279,968	283,656
Коэффициент дополнительной платы	0,1	
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	127,996	28,365
Итого $Z_{\text{доп}}$, тыс. руб.	156,361	

Таблица 24 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб.	1279,968	283,656
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	127,996	28,365
Итого ($Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$), тыс. руб.	1407,964	312,021
Итого по статье $C_{\text{зп}}$, тыс. руб.	1719,980	

6.7.5 Отчисления на социальные нужды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (14)$$

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

Размер единого социального налога равен 30% для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 25 – Отчисления во внебюджетные фонды

Зарботная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб.	1279,968	283,656
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	127,996	28,365
Итого ($Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$), тыс. руб.	1407,964	312,021
Коэффициент отчислений	0,271	
Величина отчислений	381,551	84,557
Итого $C_{\text{внеб}}$, тыс. руб.	466,108	

6.7.6 Научные и производственные командировки

В этот пункт включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы.

Таблица 26 – Расходы на командировки

Зарботная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб.	1279,968	283,656
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	127,996	28,365
Итого ($Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$), тыс. руб.	1407,964	312,021
Коэффициент расходов	0,10	
Величина расходов на командировки, тыс. руб.	140,796	31,202
Итого на командировки, тыс. руб.	171,998	

6.7.7 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

Таблица 27 – Расходы на услуги сторонних организаций

Зарботная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб.	1279,968	283,656
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	127,996	28,365
Итого ($Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$), тыс. руб.	1407,964	312,021
Коэффициент расходов на интернет	0,10	

Величина расходов, тыс. руб.	140,796	31,202
Итого на интернет, тыс. руб.	171,998	

6.7.8 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (15)$$

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

Величина коэффициента накладных расходов - 16%.

Таблица 28 – Накладные расходы

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб.	1279,968	283,656
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	127,996	28,365
Итого ($Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$), тыс. руб.	1407,964	312,021
Коэффициент накладных расходов	0,16	
Величина накладных расходов, тыс. руб.	225,274	46,923
Итого на накладные расходы, тыс. руб.	272,197	

6.7.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно - технической продукции.

Таблица 29 – Расчет бюджета затрат НТИ за период магистратуры

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	1,111	Пункт 3.4.1
2. Затраты на спецоборудование для научных	1129,566	Пункт 3.4.2

работ		
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	1563,624	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	156,361	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	466,108	Пункт 3.4.5
6. Затраты на командировки	171,998	Пункт 3.4.6
7. Оплата работы других организаций	171,998	Пункт 3.4.7
8. Накладные расходы	272,197	Пункт 3.4.8
7. Бюджет затрат НИИ	3776,602	Пункт 3.4.9

Вывод

В результате данной работы, было произведено планирование научно-исследовательских работ, а именно структура работ в рамках научного исследования. Была построена таблица перечня работ, распределения исполнителей и просчитана трудоемкость выполненных работ, разработка графика проведения научного исследования.

В работе был рассчитан бюджет научно-технического исследования, основная и дополнительная заработная плата руководителя и студента. Но главной задачей данной работы заключалась в сравнении значений показателей эффективности с другими производителями, что позволяет аргументированно говорить о том, что данная разработка является неплохим техническим решением с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

7 Социальная ответственность

Введение

В данной выпускной квалификационной работе проводились исследования ленточной намотки с боковыми вырезами в моментном двигателе.

Моментные двигатели применяются в различных системах телемеханики, автоматики, измерительной техники.

Объектом исследования является ленточная обмотка.

Ленточная обмотка из алюминиевой ленты, имеющей боковые вырезы, позволяет повысить удельные характеристики электромеханического преобразователя в связи с хорошим теплоотводом и получить желаемые функциональные зависимости «момент-угол поворота ротора».

Намотку в свою очередь можно представить в виде совокупности ряда пакетных элементов. Проведенные исследования являются основой для развития теоретических аспектов двигателя подобного рода.

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Забота о здоровье людей и их благополучии лежат в основе положения социальной ответственности. Под социальной ответственностью понимается объективная необходимость отвечать за нарушение социальных норм. Она выражает характер взаимоотношений личности с обществом, государством, коллективом, другими социальными группами и образованиями - со всеми окружающими ее людьми.

7.1. Производственная безопасность

Алюминиевая лента – один из видов металлопроката, изготовленный из алюминия или его сплавов. Внешне представляет собой сплошной плоский профиль, толщина которого составляет до нескольких миллиметров. Технические характеристики и возможности применения алюминиевой

ленты зависят от ее химического состава, методов производства и, соответственно, состояния ленты.

Общее правило работы с любыми химическими продуктами заключается в том, что, получив препарат, нужно ознакомиться с его особенностями, порядком применения, условиями хранения, обратив особое внимание на предупреждающие знаки и надписи.

Анализ рабочей зоны на предмет возникновения возможных вредных и опасных факторов представлен в таблице.

Опасные и вредные факторы при разработке и использовании интеллектуальной системы приведены в таблице 30 согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [28].

Таблица 30 – Опасные и вредные факторы при выполнении проекта

Наименование вида работы	Факторы	
	Вредные	Опасные
<p>Исследования ленточной намотки с боковыми вырезами</p> <p>Измерительные устройства:</p> <ul style="list-style-type: none"> - цифровой мультиметр VC9808 ; - амперметр; - понижающие трансформаторы; - пластина – радиатор; -выпрямительный блок; -автотрансформатор; -миллиометр Е6-18. 	<ul style="list-style-type: none"> • недостаточная освещенность рабочего места; • отклонения показателей микроклимата от нормы. 	<ul style="list-style-type: none"> • Поражение электрическим током.

Электробезопасность.

Меры безопасности при работе с электрооборудованием предусматривают проведение следующих мероприятий:

- защитного заземления;
- зануления;
- изоляции токоведущих частей;
- применения пониженного напряжения;

Под защитным заземлением понимается соединение с землей корпусов машин и аппаратов, находящихся под напряжением. Благодаря защитному заземлению снижается напряжение между корпусом машины и землей до безопасной величины. При пробое изоляции между корпусом машины и фазой ток, проходящий сквозь человека, не является опасным. В защитное заземление входят следующие составляющие:

- заземлитель в виде металлических конструкций в земле;
- заземляющие проводники, представляющие собой стальные или медные шины, которые соединяют корпуса машин с заземлителем.

Зануление представляет собой соединение корпусов электрических устройств и аппаратов, находящихся под напряжением, с заземленным нулевым проводом. В результате замыкание любой фазы на корпус аппарата превращается в короткое замыкание такой фазы с нулевым проводом. Срабатывание защиты вызывается током короткого замыкания, вследствие чего поврежденная установка отключается.

На производстве и в быту вопросы электробезопасности имеют важное значение. Причинами электротравм зачастую являются случайные прикосновения к токоведущим частям, которые находятся под напряжением. Также опасны контакты с конструктивными металлическими компонентами электрооборудования при повреждении у них электроизоляции.

Ощущать действие тока человек начинает с 0,6—1,5 мА, а при токе в 10—15 мА возникновение судорожного сокращения мышц не даёт ему возможности отключить самостоятельно цепь поражающего его тока. Поразить сердечно - сосудистую систему и органы дыхания способен ток силой в пределах 50— 60 мА.

В процессе использования электроприборов и электрооборудования может возникнуть опасность поражения электрическим током. Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В установках напряжением до 1000 В достаточную защиту обеспечивает применение изолированных проводов. В случае, когда невозможно достигнуть надежной изоляции или ограждения токоведущих частей, применяются блокировки (электрические и механические) для автоматического отключения опасного напряжения при попадании человека в опасную зону. Защита заземления, пробой на корпус превращается в пробой на землю, при этом возникает поле растекания тока, что обеспечивает снижение величины напряжения прикосновения до безопасной величины.

ГОСТ 12.1.038-82 [29] устанавливает предельно допустимые напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека (рука - рука, рука - нога) при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400Гц

Питание приборов на стендах от ПЭВМ постоянным током 5В.

Питание миллиметра Е6-18/1 осуществляется от двух элементов 373 "МАРС" с суммарным напряжением от 3,1 до 2,2 В или через блок питания от сети напряжением 220 В, частотой 50Гц.

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.038-82 [29] напряжение прикосновения для переменного тока частотой 50Гц не должно превышать 2В при силе тока - 0,3 мА, а напряжение прикосновения для постоянного

тока - 8,0В, при силе тока - 1мА. Для соблюдения этих норм на исследуемых рабочих местах применяется система изоляции и заземления.

Студент должен иметь элементарное представление об устройстве электрооборудования, отчетливое представление об опасности электрического тока, правил технической эксплуатации и устройстве оборудования, инструкции по пользованию соответствующего оборудования, требований к электроустановке и заземляющим устройствам. О назначении предупредительных плакатов, о правилах пожарной безопасности на участке, знать и практически применять правила оказания первой помощи, правила допуска к работе, правила пользования средствами индивидуальной защиты.

Все оборудование заизолировано и имеет защитное заземление в соответствии ГОСТ 12.1.003–81 ССБТ [30]

В целях предотвращения электротравматизма запрещается:

- работать на неисправных электрических приборах и установках;
- перегружать электросеть;
- переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы;
- работать вблизи открытых частей электроустановок, прикасаться к ним;
- загромождать подходы к электрическим устройствам.
- Браться мокрыми руками за штепсельные вилки.
- Подвергать электроприборы и провода воздействию влаги.

Меры безопасности при работе с электроприборами.

1. В лаборатории должен быть общий рубильник для включения и выключения внутри лабораторной сети.

2. В лаборатории следует использовать приборы заводского изготовления. При их эксплуатации необходимо руководствоваться паспортом и инструкцией завода изготовителя.

3. Электроприборы в лаборатории должны быть обязательно заземлены. Целостность заземления проверяется лаборантом.

4. Не следует пользоваться неисправными приборами, приборами с нарушенной изоляцией, с расшатанными штепсельными вилками.

5. Электрические приборы (особенно электронагревательные) нельзя оставлять без присмотра.

6. Все электронагревательные приборы независимо от мощности должны иметь достаточную тепловую изоляцию со всех сторон.

ГОСТ 12.1.045–84 устанавливает допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [31].

Требования к проведению контроля напряженности электростатических полей.

Контроль напряженности электростатических полей проводится в следующих случаях:

- при приеме в эксплуатацию новых электроустановок высокого напряжения постоянного тока;
- при вводе нового технологического процесса, сопровождающегося электризацией материалов;
- при каждом изменении конструкции электроустановок и технологических процессов и после проведения ремонтных работ;
- при организации нового рабочего места;
- в порядке текущего надзора за действующими электроустановками и технологическими процессами.

1. Напряженность электростатических полей контролируется на уровне головы и груди работающих, в их отсутствии, не менее трех раз. Определяющим является наибольшее значение измеренной напряженности поля.

2. Контроль напряженности электростатических полей в пространстве проводится путем покомпонентного измерения полного вектора напряженности или измерения модуля этого вектора.

3. Измерение напряженности электростатических полей осуществляется в диапазоне от 0,3 до 300 кВ/м. Относительная погрешность

измерений не должна превышать $\pm 10\%$. Перечень измерительных приборов приведен в рекомендуемом приложении.

Требования к средствам защиты работающих:

1. Применение средств защиты работающих обязательно в тех случаях, когда фактические уровни напряженности электростатических полей на рабочих местах превышают значение $E_{\text{пред}}$. Предельно допустимый уровень напряженности электростатических полей ($E_{\text{пред}}$) устанавливается равным 60 кВ/м в течение 1 ч.

Правила технической эксплуатации электроустановок:

Общие требования:

1. Правила имеют целью обеспечить надежную, безопасную и рациональную эксплуатацию электроустановок и содержание их в исправном состоянии.

Правила распространяются на организации, независимо от форм собственности и организационно-правовых форм, индивидуальных предпринимателей и граждан - владельцев электроустановок напряжением выше 1000 В.

2. Расследование и учет нарушений в работе электроустановок

3. Эксплуатация электрооборудования, в том числе бытовых электроприборов, подлежащих обязательной сертификации, допускается только при наличии сертификата соответствия на это электрооборудование и бытовые электроприборы.

Отклонение показателей микроклимата от нормы

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару.

Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, а низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96 [32] при нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, физическую тяжесть выполняемых работ, а также количество избыточного тепла в помещении.

Температура воздуха должна быть в холодный период года не более 22-24°C, в теплый период года 20-28°C. Относительная влажность должна составлять 15-75%, скорость движения воздуха — 0,1 м/с.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия, такие как системы местного кондиционирования воздуха, регламентация времени работы, в частности, перерывы.

Недостаточная освещенность

Создание оптимальной световой среды занимает важное место в комплексе мероприятий по охране труда и оздоровлению условий труда. Помещения, оснащенные техникой и измерительными приборами должны иметь как естественное, так и искусственное освещение. В таких помещениях используется естественное боковое одностороннее освещение в дневное время, в вечернее время используется искусственное общее равномерное освещение. Недостаточная освещенность приводит к снижению контрастной чувствительности, понижению остроты зрения.

Необходимо чтобы освещение включало в себя как естественное, так и искусственное. В качестве источников искусственного освещения следует применять в основном люминесцентные лампы.

Нормы освещения образовательных учреждений, именно: аудитории, учебные кабинеты, лаборатории техникумов и высших учебных заведений составляет 400 лк, коэффициент естественной освещенности (КЕО)

составляет 3,5 %, коэффициент пульсации не более 10%, согласно СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [33]. Чистку стекол оконных проемов и светильников следует проводить не реже двух раз в год. Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов. Установлено, что свет, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует на нервную оптико-вегетативную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Сравнительная оценка естественного и искусственного освещения по его влиянию на работоспособность показывает преимущество естественного света.

Напряженность труда

Напряженность возникает вследствие того, что работа при написании магистерской диссертации проходит в основном за компьютерным столом.

К мероприятиям компоновки рабочей зоны относятся эргономические требования.

Главными элементами рабочего места являются письменный стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Во время работы в лаборатории необходимо соблюдать чистоту, порядок и правила техники безопасности, так как беспорядочность, поспешность в работе могут приводить к несчастным случаям с тяжелыми

последствиями. После окончания работы в лаборатории необходимо привести в порядок рабочее место, отключить электрические приборы.

В научно-исследовательских лабораториях разрешается работать не более 8 часов, при этом каждые 45-50 минут работы необходимо делать перерыв не менее 15 минут и после 4 часов работы обеденный перерыв не менее 1 часа. Все личные вещи должны находиться в специально отведенном месте.

Кресло обеспечивает физиологически рациональную рабочую позу, при которой не нарушается циркуляция крови и не происходит других вредных воздействий. Для этого у кресла есть спинка анатомической формы, которая уменьшит нагрузку на позвоночник. Также для того чтобы снимать нагрузку с мышц плечевого пояса у кресла имеются подлокотники и имеет возможность поворота, изменения высоты и угла наклона сиденья и спинки.

7.2. Экологическая безопасность

Помещения, в которых производится исследование ленты, должны обеспечиваться приточным воздухом, подаваемым в верхнюю зону. В процессе нагрева ленты, электрическим прибором, могут образовываться вредные пары и газы. Все эти испарения загрязняют атмосферу, поэтому необходимо следить за этим и применить меры для их удаления.

Алюминий принадлежит к числу наиболее экологичных металлов. Высокая регенерационная способность алюминия - одно из экологических преимуществ этого материала. Он легко поддается переработке и может использоваться вторично неограниченное число раз. Его производство наносит гораздо меньший вред экологии, чем производство других металлов. Использование вторичного алюминия, полученного при переработке ломов и отходов, экономит до 95% энергии, необходимой для выплавки первичного металла, сохраняя природные ресурсы и существенно снижая выбросы таких газов, как CO₂, NO₂, SO₂.

Роль алюминия в ряде наукоемких технологий, в силу его уникальных физических и химических свойств, постоянно растет. Увеличиваются и

объемы его производства. И, пропорционально этому росту, совершенствуются технологии уменьшения отходности производства. Алюминиевые заводы с каждым годом все больше сокращают выбросы, поскольку алюминиевые компании не только дают проекты на экспертизу контролирующим организациям, но и представляют их на суд общественности с тем, чтобы они полностью отвечали необходимым требованиям для сохранения уникальной природы и экологической безопасности для жизни людей.

Разработана современная технология и оборудования, которые позволяют проводить весь комплекс шихтоподготовительных и металлургических операций при переработке лома и отходов содержащих алюминий. Предложенная технология и комплекс оборудования внедрены на ряде предприятий стран СНГ и позволяют перерабатывать различного вида отходы с максимальным извлечением металла при минимальном экологическом воздействии на окружающую среду. [34]

Люминесцентные лампы содержат ртуть и поэтому должны утилизироваться на специальных полигонах токсичных отходов.

Исследования, проводимые в ходе написания магистерской диссертации, не оказывают прямого негативного влияния на окружающую среду, но образуются отходы бытового характера.

7.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее типичная ЧС – пожар.

Рабочее место по категории пожарной опасности относится к классу В, как пожароопасное. Пожар носит техногенный характер. Причинами возникновения пожара в лаборатории могут быть неисправность электропроводки, электроприборов. К возможным причинам пожара можно отнести:

- неисправность электрической проводки;
- возгорание;
- несоблюдение правил ПБ.

При возникновении в рабочей зоне опасных условий труда (появление запаха гари и дыма, неисправность заземления, возгорание материалов и оборудования, прекращение подачи электроэнергии, появление запаха газа и т.п.) немедленно прекратить работу, выключить оборудование, сообщить о происшедшем непосредственному или вышестоящему руководству, при необходимости вызвать представителей аварийной и технической служб.

При возникновении пожара необходимо позвонить в пожарную службу, эвакуировать людей, принять возможные меры по тушению пожара.

Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Своевременное и грамотное использование средств защиты является эффективной защитой человека в ЧС. Для защиты от поражающих факторов ЧС, используются средства коллективной и индивидуальной защиты. К поражающим факторам пожара относят открытый огонь, высокие температуры, дым, выделение вредных газов, взрывоопасных, сильнодействующих ядовитых и отравляющих веществ, ударная волна, падающие части строительных конструкций.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- a) использование только исправного оборудования;
- b) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- c) назначение ответственного за пожарную безопасность помещений предприятия;
- d) издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности;
- e) отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- f) курение в строго отведенном месте;

г) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Одной из основных причин гибели людей при пожаре является ни огонь и температура, а токсичные продукты горения, поэтому противоподымная защита зданий, направленная на предотвращение или ограничение опасности задымления эвакуационных путей и зданий, отдельных помещений и удаление продуктов горения в определенном направлении, является первостепенной задачей противопожарной профилактики. В надлежащих местах должны быть вывешены планы эвакуации людей из здания.

При возникновении аварийной ситуации работники лаборатории обязаны прекратить работу и сообщить о случившемся ответственному лаборатории. Далее выполнять его указания по устранению возникшей аварийной ситуации.

При возникновении пожара, воспламенении горючих веществ работник лаборатории должен:

а) без промедления сообщить об этом по телефону в пожарную охрану (при этом необходимо назвать место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию);

б) принять меры по вызову к месту пожара своего непосредственного руководителя или другого ответственного лица;

в) отключить электрооборудование, электрические приборы, электропитание в помещении, где возник пожар;

г) покинуть зону воздействия опасных факторов пожара, воздействующих на организм человека, за пределы помещения или здания, в которых возник пожар;

д) приступить к ликвидации пожара, используя первичные средства пожаротушения.

7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [35].

При организации рабочего места исследователя должны быть соблюдены следующие аспекты:

1. Правильность хранения химических материалов, содержащих легковоспламеняющиеся, токсичные компоненты.
2. Укомплектованность рабочих мест технологическими схемами, должностными инструкциями, инструкциями по эксплуатации оборудования и по охране труда, современность их пересмотра.
3. Укомплектованность исправными средствами индивидуальной и коллективной защиты.
4. Исправность оборудования, инструмента и приспособлений.
5. Наличие аптечек первой помощи, укомплектованность их медикаментами и медицинскими средствами согласно списку.
6. Проверка соответствия оперативных и мнемонических схем действительным, наличие четких надписей и обозначение в схемах и на оборудовании; отражение на схемах генерирующих установок потребителей.
7. Отсутствие в эксплуатации электрооборудования, конструктивно не соответствующего требованиям безопасности.
8. Состояние микроклимата на рабочих местах, соответствие его параметров нормам.
9. Санитарно – бытовое обеспечение работников.
10. Возможность воспользоваться первой медицинской помощью; наличие средств связи, аптечек первой помощи на рабочих местах; обеспеченность моющими средствами и защитными препаратами, веществами и т. п.

Проведя анализ вредных и опасных производственных факторов на рабочем месте в лаборатории корпуса №4, можно сделать вывод о том, что в данном помещении соблюдаются все требования нормативно - правовых документов, что является подтверждением безопасности данного места работы. Нарушений экологической безопасности на рабочем месте не выявлено, угрозы для жизни людей не наблюдается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

До настоящего времени отсутствовал общий подход к тепловому расчету ленточной намотки, что затрудняло влияние окружающих условий на температурное поле и соответственно на работоспособность двигателя. Численное моделирование и экспериментальные исследования, проведенные в магистерской работе, позволили выявить основные закономерности тепловых процессов, которые оказывают влияние на нагрев МД. В результате проведенных работ была исследована в программе COMSOL Multiphysics геометрическая модель – пластина, которая является частью исследуемой ленточной намотки.

Обобщая результаты проведенной работы, можно сформулировать следующие выводы:

- на начальном этапе проектирования математическая модель представляет возможность после задания необходимых граничных условий и входных данных (в отличие экспериментальных исследований, требующего значительных временных и ресурсных затрат на анализ) оценить полученные температурные режимы в виде графиков во времени. Это позволяет кратчайшим образом достигнуть необходимого результата, варьируя геометрическими размерами и параметрами пластины. Данную модель можно перестроить, также задать ширину, длину, толщину и размер вырезов.

- для более детальной проработки варианты, прошедшие проверку разработанной тепловой модели, передаются на анализ экспериментальным методом, где производится сравнение с результатами численного моделирования, что поможет избежать ошибок и неточностей.

Полученные результаты дают уверенность в том, что ленточная намотка при наличии хорошего отвода тепла на корпус двигателя, будет являться вполне работоспособным элементом конструкции.

Список публикаций

1. Е.С. Ананьева «Сопротивление пластины ленточной намотки». Всероссийская научная конференция молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации» - НТИ -2017. Диплом III степени



Список используемой литературы

1. Микеров, А. Г. Прямой привод в России / А. Г. Микеров // ControlEngineering Россия. – 2012. – № 1(38). – С. 8-11.
2. Афанасьев А.Ю. Столов Л.И. О свойствах моментных двигателей в системах автоматического управления летательных аппаратов. Казань, изд-во КАИ, 1980. С. 3-7.
3. Бертинов А.И. Электрические машины авиационной автоматики. М.:Оборонгиз, 1961.
4. Беспалов В.Я. Электрические машины малой мощности, применяемые в схемах автоматики и управления (Обзор по каталожным данным США). М.: Информстандартэлектро, 1970.
5. Епифанов О.К. Современный ряд высокомоментных двигателей для безредукторных следящих систем: результаты разработки и производства. //Электротехника.-2005.-№2-С.36-48.
6. Епифанов О.К., Смоликова М.В. Бесконтактный моментный двигатель постоянного тока модульного типа с электромагнитной редукцией частоты вращения для безредукторных систем // Гироскопия и навигация. 1997. -№1(16).-с. 34-41.
7. Калужский Д.Л. Электрические машины с дискретно – распределенными обмотками для низкоскоростных электроприводов // Электротехника. 1997. №9. С.10-13
8. Столов, Л. И. Моментные двигатели постоянного тока / Л. И. Столов, А. Ю. Афанасьев. – М. :Энергоатомиздат, 1989.–224 с.
9. Моментные двигатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:<https://studfiles.net/preview/5332793/page:25/>
10. Моментный двигатель Моментный двигатель : пат. 2378755 Рос. Федерация : МПК H02K 26/00 / В. М. Мартемьянов, И. А. Плотников, Е. Н. Горячок, А. В. Квадяева ; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. – №2008147477/09 ; заявл. 01.12.2008 ; опубл. 10.01.2010, Бюл. № 1. – 8 с.

11. Долгих А. Г., Мартемьянов В. М., Бориков В. Н. Активный ленточный элемент моментного электродвигателя // Сборник трудов Межд. науч.-техн. конф. «Завалишинские чтения – 2017». – Санкт-Петербург, 2017. – в печати.
12. Обмотчик электрических машин Виноградов Н.В. (1969 г.)
13. Zhu, L. Analytical methods for minimizing cogging torque in permanent-magnet machines / L. Zhu, S. Z. Jiang, Z. Q. Zhu, C. C. Chan // IEEE Transactions on Magnetics. – 2009. – Vol. 45(4). – P. 2023-2031.
14. Zhu, Z. Q. Influence of design parameters on cogging torque in permanent magnet machines / Z. Q. Zhu, D. Howe // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2000. – Vol. 15. – P. 407-412.
15. Изотов, В. А. Беспазовые машины постоянного тока: состояние и перспективы развития / В. А. Изотов, В. В. Фетисов // Электротехника. – 1997. – №6. – С. 1-5.
16. Машиноаппарат. Разработка и производство электродвигателей ДБМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:<http://mashap.maverick.ru/MenuVert/About1.html> (23.04.2017).
17. Crowder, R. Electric Drives and Electromechanical Systems: Applications and Control, 1st ed. / R. Crowder – Elsevier, 2006.–312 p.
18. Faulhaber. Technical information, 8th ed. – Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG, 2016. – 71 p.
19. Zig-zag windings, winding machine, and method : пат. 4331896 A US / D. Sedgewick ; заявитель и патентообладатель Sedgewick Richard D. – № US 06/198,928 (1982); заявл. 20.10.1980; опубл. 25.05.1982. – 18 с.
20. Беляков, П. Ю. Теоретический анализ диагональной обмотки / П. Ю. Беляков, Ю. В. Писаревский, Л. Н. Титова // Электротехника. – 2000. – №8. – С. 24-26.
21. Писаревский, Ю. В. Особенности оценки эффективности обмоток для беспазовых якорей бесконтактных двигателей постоянного тока / Ю. В.

- Писаревский, Ж. А. Ген // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2012. – № 2. – С. 6-10.
22. Титова, Л. Н. Исследование малоинерционного электродвигателя постоянного тока с высокими технологическими характеристиками : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.01 / Л. Н. Титова. – Воронеж, 2001. – 151 с.
23. Демагин, А. В. Электрические машины для непосредственного привода приборных систем / А. В. Демагин. – СПб. : Научн.-произв. объединение «Азимут», 1991. – 81 с.
24. Моментный двигатель : пат. 2441310 Рос. Федерация : МПК H02K 26/00 / В. М. Мартемьянов, А. Г. Иванова (Долгих) ; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. – №2010135113/07 ; заявл. 20.08.2010 ; опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3. – 6 с.
25. Стахеева О. Ю., Стахеев Е. В. Оценка влияния длины электрода на нормальную составляющую тока пластинчатого элемента // Сб. науч. трудов II Всерос. форума школьников, студю, асп. и мол. уч. с межд. уч. «Космическое приборостроение», 10-12 апр. 2014 г., г. Томск. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 269-271.
26. Термопары. Определение, принцип работы, классификация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:<http://pue8.ru/vybor-elektrooborudovaniya/818-termopary-opredelenie-printsip-raboty-klassifikatsiya.html>.
27. Термометры оспротивления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:http://https://studref.com/389963/tehnika/termometry_soprotivleniya
28. ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
29. ГОСТ 12.1.038–82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».

30. ГОСТ 12.2.003–91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам».
31. ГОСТ 12.1.045–84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».
32. СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
33. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».
34. ГОСТ 17.2.3.02-2014 «Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями норм предельно допустимых выбросов».
35. ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

Приложение А

Раздел 1. Torque motors

(Моментные двигатели)

Раздел 2. Purpose and types of windings

(Назначение и виды намоток)

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6В	Ананьева Елена Сергеевна		

Консультант школы отделения ОЭИ ИШНКБ _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электронной инженерии	Мартемьянов Владимир Михайлович	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Квашнина Ольга Сергеевна			

1 Torque motors

The torque motor is an ordinary electric motor; as well known as electromechanical converter. In this motor, the electric signal of direct or alternating current comes to the input, and at the output we receive the electromagnetic torque. The operating mode of this motor is: a rotor of the motor rotates with a low frequency or doesn't rotate at all. The motor has low frequency of rotation and doesn't have housings, bearings, or feedback devices.

Nowadays, the term "torque motor" comprises two concepts. On the one hand, it means that the electric motor is intended to develop the torque during the operation at ultralow speeds of the loading turn. On the other hand, it is assumed that the motor is set to the specific developed torque per unit of mass, volume or the power consumed from electrical network [1].

The modern term "torque motor" has two concepts:

- the electric motor is intended to develop the torque during operation at ultralow speeds of the loading turn;
- set to the specific developed torque per unit of mass, volume or the power consumed from electrical network.

Typically, a torque motor is mounted in any controlled object or a car without any mechanical-transmission elements. That is why they differ from classical electric motors as they have no casing, shaft and bearings. The motor is executed in the form of two parts: the rotor and the stator having the form of flat rings which are mounted in drive elements – Figure 1.

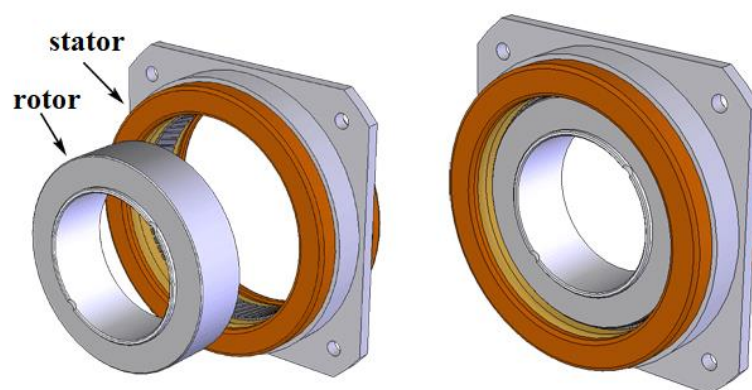


Figure 1 – Contactless Torque Motor

1.1 History of creation of torque motors

For the first time the torque motor was used in 1842 by the Scottish businessman Robert Davidson in the four-wheel vehicle for the Edinburgh-Glasgow railway line. On the vehicle, the wheels were put on the wooden shafts of motors. The motors had three longitudinal iron strips which were alternately attracted by the stator electromagnets controlled by the mechanical switch on shafts of motors. Similar electric motors are now called inductor motors. The 5 tons vehicle reached the speed of 4 miles/hour. That was the first time when rotation of a wheel was obtained directly from the electric motor. That is where the modern term Direct Drive takes its origin.

The other known example of the direct drive is the electric hammer of the French electrician Marcel Depre created in 1882. It represented as a linear electromagnet with the core (hammer) weighing 23 kg and a winding which sections were switched manually. It was the origin of linear engines.

In the 30-40s of the 20th century there appeared a direct-drive arc-type asynchronous drive. This is still used as a part of the powerful electric drive in metallurgical, cement and other industries.

These were individual unique designs as, in most cases, gearbox drives on the basis of high-speed (1000 – 10 000 rpm) electric motors of direct and alternating current.

Experience of the USSR and Russia

Emergence of powerful rare-earth magnets brought back the interest to inventing of contactless electric motors of the built-in execution on the basis of synchronous machines with permanent magnets on the rotor.

These motors intended for special tasks started to be designed in the 1970s at various enterprises in USSR. Moscow plant "Mashinoapparat" produces high frequency torque motors for different applications. On the basis of these machines has been developed a series of groov and smooth contactless torque motors with samarium-cobalt magnets with the moments of 0.01 - 16 μm . Contactless torque

motors “TMN” are still being made at JSC “Mashinoapparat” as well as new types the motors such as “2 TMN” and “3 TMN”.

Torque motors no-touch “3TMN” have more powerful magnets like "nezhebor" type instead of samarium-cobalt magnets, but all russian brands of magnets "nezhebor" do not provide the high level of reliability and stability needed for industrial or military application.



Figure 2 – Electric motor “TMNS 50”

In 2010 the St. Petersburg’s company CJSC “ELMA-Co” finished the development of a new series of torque motors no-touch self-controlled “TMNS” with improved characteristics, that have samarium-cobalt magnets. Such motors have 20 standard ratings with a diameter from 50 to 240 mm with the torque of 0.025 - 100 nanometers.

In comparison with “TMN” series, these motors have improved characteristics – high coefficient of static good quality on the torque and a low electromechanical time constant.

This is achieved by replacing distributed winding of the stator of “TMN” motors by concentrated coiled winding. Also, a rotor of collector type with tangential magnetized magnets on a rotor like "asterisk" is replaced by the radially magnetized magnets.

1.2. Torque motors in modern equipment

Areas of application

Torque motors are used in the following areas [2,3,4,5,6,7]:

- tracking systems and systems of angular stabilization of high accuracy, including, onboard aircraft installations;
- systems of automatic control in direct-drive and gearbox drive engines;
- control systems of robots and manipulators;
- medical device industry, where are strict requirements for noise and pulsations levels;
- chemical and microbiological industry for transfer of the torque through a sealed partition to the isolated cavity;
- drives of hybrid electric vehicles motor-wheels and etc.

Torque motors can be classified by purpose, operating principle, a type of current and design. By the way of creation of the main magnetic flux torque motors are performed with excitation from constant magnets and electromagnetic excitation. In addition, torque motors differ by the arrangement of an anchor winding: on a rotor or on the stator; number of pole couples; way of supplying the current to the control winding (collector, valve or with flexible current lead); working range of rotation angles of a rotor, and many other features. The detailed description of classification of torque motors is provided in [8].

1.3. Advantages and disadvantages of torque motors

In torque motors, a rotor while developing the necessary torque turns only by a very small angle comprising only a part of its turn. Thus, the motor works practically with a motionless rotor.

As torque motors, motors of various types of both direct and alternating currents can be used. For example, a direct current motor of independent excitement has the short circuit moment proportional to the applied voltage. An asynchronous engine (three-phase or two-phase) the moment is defined by the square of voltage in a stator circuit, and in the two-phase engine it is enough to regulate current in one winding (control winding) and to change the moment due to the introduction of asymmetry. [9]

Systems with torque motors are characterized by increased speed. As the motor does not rotate, its mechanical inertia does not influence the dynamics of the

system, and transition processes are defined generally by electromagnetic inertia of windings. As the electromagnetic inertia constant of the motor is usually significantly less than the electromechanical one, the transition processes in them run quicker, than with movements.

Design features of torque motors are defined by the principles of their operation. The asynchronous torque motor functions due to the interaction of the rotating magnetic field created by a stator winding with the currents induced by this field in a rotor winding. Electromagnetic torque motors contain the ferromagnetic anchor attracted to the core with a winding on which the electric current is passed. The magnetoelectric torque motor incorporates a winding which active conductors are in the magnetic field created by a permanent magnet; when flowing through a winding of direct current the moment proportional to this current is created. [10]

The listed types of torque motors have their advantages and disadvantages, among the latter there is a small value of the developed torque.

An electrodynamic torque motor is also known. Structurally, the electrodynamic torque motor differs from the magneto electric engine in that an electromagnet is used instead of a permanent magnet. Schemes of electrodynamic motors can be made with both an external and an internal electromagnet. By supplying the corresponding current to the coil of the electromagnet, it is possible to obtain in the working air gap considerably larger values of the magnetic induction than in the construction using a permanent magnet. At the same time, the torque developed by the engine will also increase. The winding of the electromagnet is usually connected permanently to the mains and is the winding of the excitation of the motor; The second one is connected to the control circuit and is called the control winding. The control winding is carried out by a winding wire and by the nature of the arrangement on the magnetic circuit it can be either ring or drum. The excitation and control windings are located on different parts of the torque motor - stator and rotor, depending on the design features of the particular engine. However, the increase in induction in the air gap in order to increase the

developed torque is limited by the permissible position of the operating point on the magnetization curve of the material both the core of the electromagnet and the material of the magnetic circuit on which the control winding is located. The increase in the number of turns and current in the control winding to create a greater torque developed by the motor will lead to the need to increase the air gap in which the active conductors of the winding are placed. The consequence of an increase in the air gap with constant parameters of the excitation circuit will be a decrease in the magnetic induction in the gap, which will eventually compensate for the positive effect created by the increase in the number of turns and current in the control winding. The disadvantage of the electrodynamic torque motor is the small value of the developed torque.

1.4. Method for increasing the developed torque

The moment depends on the resistance value of the individual plate.

The main characteristic of torque motors, which determines its operability, is the torque characteristic, it can be determined by two dependencies: the torque from the rotor rotation angle with a constant control current ($M = f(\alpha)$) and the torque from the control current for a fixed turning angle ($M = f(I_c)$).

The force that is created by a single plate is determined as follows:

$$F_1 = B(\delta) \cdot \Delta \cdot \frac{U}{2p \cdot R \cdot N} \cdot \frac{1}{I_0} \cdot D(x, y, I_0)_{x_c}, \quad (1)$$

where $B(\delta)$ – the induction of the magnetic field; δ – length of the non-magnetic portion of the magnetic circuit; Δ – thickness of the tape; U – DC power supply voltage; R – active resistance of a single plate; p – number of winding coils (layers); $D(x, y, I_0)_{x_c}$ – number of pairs of poles of the magnetic system, the value of the double integral over the surface representing the zone of action of the magnetic flux. The integral is calculated by finding the center of a permanent magnet at the point x_c . I_0 – the current at which the value of the double integral is determined. [11]

In multi-turn winding, we select a stack of identical plates placed one above the other. Define the moment M_0 that can be created by such a package, which is under the influence of the flux of one pole of the magnetic system:

$$M_0 = \sum_{i=1}^N M_{0i},$$

$$\text{where } M_{01} = F_1 \cdot r_0; M_{02} = F_1 \cdot (r_0 + \Delta); \dots; M_{0N} = F_1 \cdot [r_0 + (N-1) \cdot \Delta]. \quad (2)$$

In this case, r_0 the average radius of the first coil winding.

Given that the magnetic system has $2p$ poles, the torque generated by the motor is

$$M = 2p \cdot M_0 = p \cdot \Delta \cdot N \cdot F_1 \cdot [N + (\frac{2r_0}{\Delta} - 1)]. \quad (3)$$

Substituting in the resulting expression (3) the value of the strength of the unit plate (1), we obtain the expression for the torque of the motor with ribbon winding.

$$M = \frac{\Delta^2}{2} \cdot \frac{U}{I_0 \cdot R} \cdot B(\delta) \cdot [N + (\frac{2r_0}{\Delta} - 1)] \cdot D(x, y, I_0)_{x_c}. \quad (4)$$

2 PURPOSE AND TYPES OF WINDINGS

One of the most important parts of the electric motor is the winding in which the main working processes of transformation of electric energy to mechanical are carried out. In a winding of the electro car there is an induction of the electromotive force (EMF) and there is a current creating at interaction with magnetic field electromagnetic forces.

The winding of the car is very essential part as in her EMF is created and there is an energy transformation process. Depending on appointment, power and operating conditions of the car of a winding have various constructive device.

Windings of electric machines consist of coils. The coil calls a set of wires which has been given the corresponding form for laying in core grooves. The coils are divided into soft, wound from a round wire, and rigid - from a rectangular wire. The windings consisting of semi-rounds (cores) are called rod. [9]

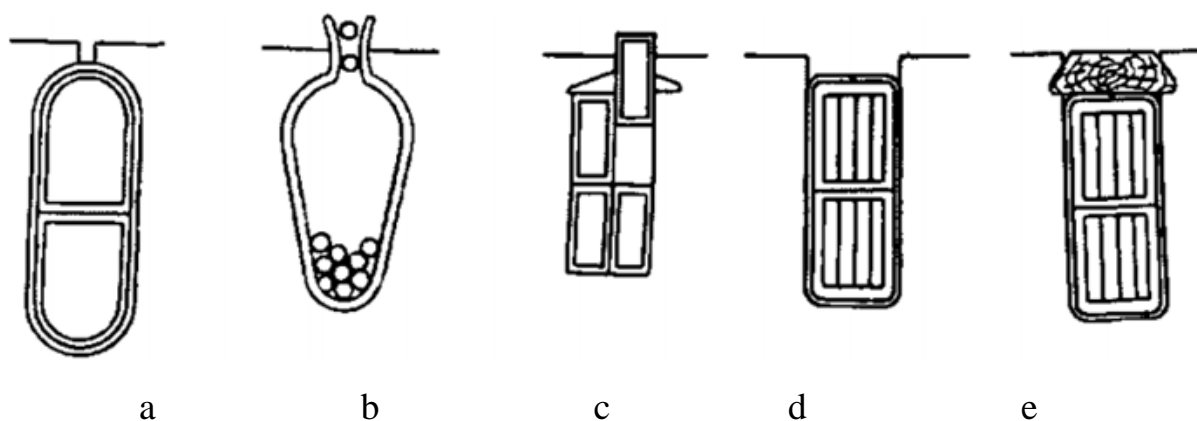


Figure 3 – Forms of grooves: a) closed, b) half-closed, c) half-open, d) opened with a bandage, e) opened with a wedge.

From the point of view of manufacturing techniques, major factors for classification of windings are the number of rounds and section of a wire. The manufacturing techniques of single-turn and windings are absolutely various also on production transactions, and of the equipment. Ways of laying of windings in grooves depend on a groove form. Grooves of electrical machines have one of the following forms – the figure 2: the closed groove into which wires insert from a core end face – the figure 2a; a half-closed groove into which wires of the coil pour on one through a narrow cut of a groove – the figure 2b; a half-open groove in

which put the rigid coils divided in each layer into two – the figure 2c; an open groove in which put rigid coils and hold them in anchor grooves wire bandages – the drawing 2D; an open groove in which put rigid coils and hold them in grooves of an anchor or the stator wedges from a tree or other insulating material – the figure 2e. Windings in which the party of the coil occupies all groove are called single-layer, and the windings lying in grooves in two layers – two-layer.

In cars of alternating current, the following main types of windings are used:

- 1) coil,
- 2) rod,
- 3) special.

Coil windings are produced from the isolated copper or aluminum wire of round cross-section, rod and special – from tires of rectangular cross-section. Special windings apply to short-circuited windings of rotors of asynchronous engines, to starting and soothing windings of synchronous cars, to one-anchor converters, etc.

In asynchronous engines of big power with phase rotors through which windings big current proceeds apply rod windings of a rotor. They are produced from cores which are bent from the naked copper tires isolated by means of wrapping by insulating materials. For rod windings use tires of the rectangular section or with the rounded side.

Most often rod windings carry out two-layer with two cores in a groove (two-rod). However, rod windings also meet four cores in a groove. Such windings can be considered as two-rod, but with the doubled number of grooves. Rod windings can be the wave and loopback type. The greatest distribution was gained by windings of wave type. Their advantage is that they have the smaller number of connections between bobbin groups.

Rod windings of a rotor apply at the closed or half-closed grooves of a rotor. Therefore, cores insert into grooves from a rotor end face. The winding consists of cores of the top and lower layer. At the rectangular section of cores,

they differ only in length of front parts which at cores of the top layer is slightly more. At rounding off of a side cores of the top and lower layers differ in the various arrangement of the rounded party. Except for cores, in a rod winding, there are still crossing points or connecting arches. In each phase, there is about one such crossing point, and all them on a rotor three.

2.1. Types of windings

It is necessary to stop on consideration of windings of moment engines slightly in more detail. For the vast majority of contactless moment engines with permanent magnets, the winding of an anchor is located on the stator. In an operating mode of the engine when his rotor is almost not mobile, the energy brought to him from the network is almost completely distinguished in the form of heat in engine windings. This mode corresponds to the starting mode (or short circuit) the ordinary rotating electric motors. From what it is possible to draw a conclusion that moment engines need a more reliable cooling system and therefore lose in mass-dimensional indicators in comparison with the ordinary rotating electric motors with the same moment.

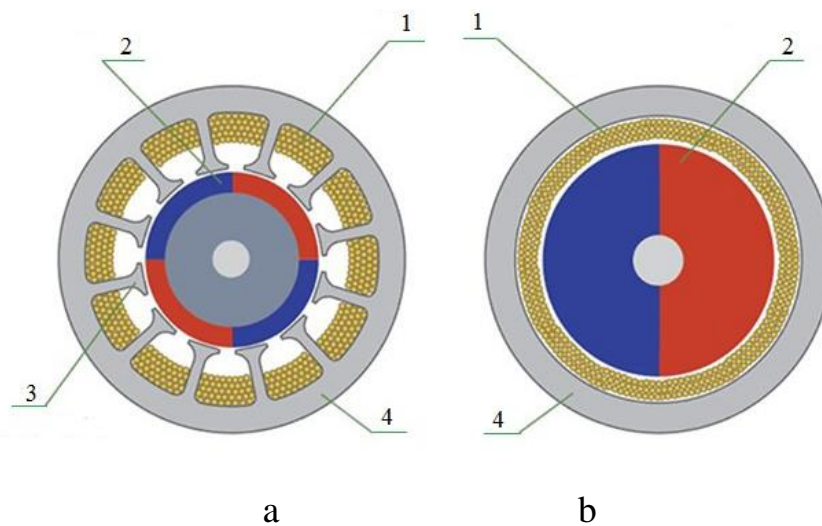


Figure 3 - Types of windings a) slotted; b) slotless

1-wire; 2 - magnets; 3 - lamination teeth;

4 - laminations;

1. Slotted

The slotted stator with a winding located directly in the air gap; this makes it possible to ensure that there is no reactive residual torque and torque pulsation.

In the first case, the winding is located like most electric machines in the grooves of the core. A smooth stator has a winding placed on a non-magnetic base, or a winding structure is created by compounding the winding pre-made on the template.

The main advantages of technology of cuts are:

- simplicity of control of winding
- the raised thermolysis
- ability to maintain high peak torque
- high density of power

Lack of this winding is need of observance of technological transition in the course of laying of details of winding sections in anchor grooves that complicates process of winding of the last. This winding is applicable only for anchors with even number of flutes.

2. Slotless

The slotless stator with the winding located directly in an air gap; it allows to provide lack of the jet residual moment of resistance and a pulsation of the rotating moment.

Electric motors with the smooth stator create the smaller rotating moment, than with the grooving stator, however they have significantly less pulsation of the rotating moment on a rotor angle of rotation. Besides, nonlinearity of dependence of the maximum static synchronizing moment on the consumed current at engines with the smooth stator is also less, than the corresponding characteristic at the engine with the grooving stator. The engine with the smooth stator has no jet residual moment. [10, 11] The specified circumstances lead to the fact that engines with the smooth stator are widely used in precision instrument systems. [12]

The JSC «Mashinoapparat» plant (figure 4) specializes in production of such torque motors of the TMN series on Standard-Setting Authority B 160.515.07685 [13].



The figure 4 – Slotless torque motors of the TMN series

By using the armless design of the armature, when other things being equal, an increase of more than twice the unit power of the DC machines is achieved, a considerable increase in the speed of the reversing motors and the overload capacity due to a significant decrease in the value of ξ in comparison with the dentate armature. However, the transition to a band less anchor leads to an increase in the flow rate of copper to the excitation winding. This causes a deterioration in the weight and dimensions.

The DC motor with such armature has a small inertia and is used in automatic control circuits. The technology of manufacturing the core of the armature and winding is noticeably simplified. It can develop a rotary-type moment at starting, equal 10 to the multiple nominal moment, therefore the billows of such anchors do increase. The puttee of anchor effectively cools down due to the good terms of heat emission from the surface of anchor, therefore an engine is executed without a ventilator. These characteristic features of engines with an air-gap-conductor generator and distinguish it from ordinary engines. At identical power of the system of excitation, in tooth - slot engines from the small size of air-gap we have high enough values of induction in a gap and accordingly useful stream. In addition, at the identical closeness of current the linear loading of toothed stator more than slotless. At identical power of the system of excitation, in tooth - slot engines from the small size of air-gap we have high enough values of induction in a gap and accordingly useful stream. In addition, at the identical closeness of current the linear loading of toothed stator more than air-gap-conductor generator. But, if there are hard requirements to the electromagnetic

fast-acting, and also evenness of rotary-type moment within the limits of corner of turn of rotor, engine with a tooth-slot construction are not used, in the first from large inductance of puttee that will not allow to realize the required fast-acting, secondly, from after tooth kinks of moment, that it is impossible to remove system methods.

The types of anchor windings applied in torques, the same with traditional electric motors. Windings can be circular, drum, concentrated, up-diffused, diamond-shaped (diagonal) and other. Analysis of existent windings and their influence on descriptions of electric motors are conducted in a number of scientific sources [13, 14, 15, 16]. Full enough and these questions are examined in detail, in particular, in works [17, 18, 19].

These works are in constructing of torque drives, control system by them, application of new materials - aught will allow improving the quality indexes of the newly developed systems. However, the probability is not eliminated that traditional decisions to development of torques can get around the limit when their descriptions practically cannot be substantially improved. The necessity of new structural approaches will appear in this case.

Torque electric motors can be estimated by different descriptions [20], but the coefficient of static good quality (static good quality) is used mainly in practice. This coefficient takes into account the starting moment of M developed by an engine, mass of engine (mass of active parts) - m and consumed by an engine at starting power of P :

$$Q = \frac{M}{m \cdot \sqrt{P}}.$$

1.1. Materials of winding

An electric motor, as one of the most subject to the heavy loading aggregates, very often falls out. The principal reason of breakages is gallops of tension and overheat, because of what an isolation is violated in a putter, there is shorting and copper wires melt simply. To throw out an engine - not always correct

decision, in fact, it is possible to treat his major repairs, that, certainly, in most cases cheaper, then purchase of new aggregate.

A putter of electric motors is a process intensive enough, that requires from the employee of not only assiduousness but also considerable experience.

If to give a glance on winding data of electric motors, then it is possible to notice that in these tables the question is mainly about descriptions used for the puttee of copper and aluminum wires. Exactly they and are basic expense material. Every separate case requires the use of winding wires with certain technical descriptions is a brand, section, type of isolation etc.

Deployment of aluminum wires instead of wires from a copper began a few decades back. It is constrained before on next reasons:

- expenses on a booty, enriching, and smelting of these metals. Aluminum contained in ores from 40% to 60% and to the copper only 1 - 1,5%. Accordingly, smelting of aluminum on a world scale for the last decade increased in four times, while the production of copper grows annually on 5 - 6%.

- it is a less expensive process of receipt, and consequently cheapness of aluminum stipulated aspiring to the increase in his production and consumption.

Mass application of aluminum in an engineer began at making from it short-circuited winding of asynchronous engines of alternating current, that is widely used in industry.

The inundation of rotors an aluminum substantially changed and simplified technology of implementation of winding of rotors as compared to winding from copper alloys. Even greater as compared to a copper resistance of aluminum was a positive factor. The advantage of electric asynchronous engines with the short-circuited puttee of rotor executed from an aluminum before a short-circuited puttee from a copper:

- more high starting moment of engine;
- more subzero starting current.

To date aluminum winding wires widely used for making of random winding of the stator of asynchronous engines power to 100 kW and by tension to

500B. Application of aluminum wires substantially can heave up the production of electric machines to the level providing complete electrification of the country, in fact, every ton of copper, transferable an aluminum, gives a large economy on the decline of capital investments in the colored metallurgy and abbreviates the terms of increase of new powers.