

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
Профиль «системы ориентации стабилизации и навигации»
Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|---|
| Моментный двигатель с ленточной намоткой |

УДК 621.313.13.042.143.2

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1БМ6В | Самодуров Иван Николаевич | | |

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 Артём 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 | | |

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

| Код результата | Результат обучения |
|--|--|
| <i>Профессиональные компетенции</i> | |
| Р1 | Способность совершенствовать и повышать свои специальные знания в области математических, физических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире; |
| Р2 | 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 задач современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области. |
| Р3 | 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. |
| Р4 | 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 инженерной деятельности в областях контроля деформации измерительной техники и точного приборостроения; приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности. |
| Р5 | Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя макеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении. |
| Р6 | 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 социальную ответственность. |
| Р7 | 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. |
| Р8 | Умение разрабатывать результаты исследований по анализу; способность разработать и проводить оптимизацию натуральных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности. |
| Р9 | Умение организовывать современное обеспечение технологических процессов производства приборных систем; 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
Профиль «системы ориентации стабилизации и навигации»
Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель отделения
_____ Баранов П.Ф.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|--------------------------|
| магистерской диссертации |
|--------------------------|

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|------------------------------|
| 1БМ6В | Самодурову Ивану Николаевичу |

Тема работы:

| | |
|---|--|
| Моментный двигатель с ленточной намоткой | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | |

| | |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | |
|--|--|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| Исходные данные к работе | Объект разработки и исследований – магнитное поле моментного двигателя с ленточной намоткой. Принцип работы моментного двигателя изложен в описаниях к патентам РФ №2441310, № 2454776. Магнитное поле в зазоре моментного двигателя создаётся постоянными магнитами. Исследования проводятся с использованием макета-двигателя и экспериментальной установки. |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | Анализ существующих моментных двигателей. Приёмы повышения удельных характеристик. Аналитические и экспериментальные исследования деформации основного магнитного потока в зазоре моментного двигателя собственным магнитным полем ленточной намотки. Анализ полученных результатов, выработка предложений с целью улучшения характеристик двигателя. |

| | |
|---|---|
| Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | Представление выпускной квалификационной работы –презентация (10-12 слайдов). |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов) | |
| Раздел | Консультант |
| Основной раздел | Мартемьянов Владимир Михайлович |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Данков Артём Георгиевич |
| Социальная ответственность | Анищенко Юлия Владимировна |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| | |

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1БМ6В | Самодуров Иван Николаевич | | |

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

Студенту:

| | |
|---------------|------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 1БМ6В | Самодурову Ивану Николаевичу |

| | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|-----------------------|
| Школа | Неразрушающего контроля и безопасности | 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 научных публикациях; |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИ, бюджет НИ. |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|---|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | Определение потенциалов потребителя результатов исследования. |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований | Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоёмкости работы, расчет бюджета. |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования | Оценка сравнительной эффективности проекта |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|--|
| |
|--|

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|---------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 1БМ6В | Самодуров Иван Николаевич | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|--------|------------------------------|
| Группы | ФИО |
| 1БМ6В | Самодурову Ивану Николаевичу |

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|--|---|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Моментный двигатель с ленточной намоткой. Рабочее место – учебная аудитория 4 корпуса, рабочий стол, ЭВМ. |
|--|---|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| 1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого | Анализ выявленных вредных факторов: <ul style="list-style-type: none"> • недостаточность освещения • повышенный уровень электромагнитных излучений • повышенная или пониженная температура Анализ выявленных опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> • поражение электрическим током • повышенный уровень статического электричества |
| 2. Экологическая безопасность | Охрана окружающей среды: <ul style="list-style-type: none"> • анализ воздействия объекта на окружающую среду |
| 3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях | Защита в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> • сверхнизкие температуры зимой • пожар (наиболее типичная ЧС) |
| 4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> • Специальные правовые нормы трудового законодательства; • Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны |

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

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|-----------|---------------|------------------------|---------|------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент | Анищенко Ю.В. | к.т.н | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|--------|---------------------------|---------|------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 1БМ6В | Самодуров Иван Николаевич | | |

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
 Профиль «системы ориентации стабилизации и навигации»
 Отделение электронной инженерии
 Уровень образования магистратура
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2017/2018 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) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 13.11.2017 г. | Аналитические исследования деформации магнитного потока. | 25 |
| 10.04.2018 г. | Проведение натуральных экспериментов по оценке деформации магнитного потока | 25 |
| 15.05.2018 г. | Раздел «Социальная ответственность» | 15 |
| 22.05.2018 г. | Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» | 15 |
| 03.05.2018 г. | Раздел «Английский язык» | 10 |
| 06.06.2018 г. | Оформление ВКР и представление работы рецензенту | 10 |

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель отделения | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|---------|------|
| Электронной инженерии | Баранов Павел Фёдорович | Кандидат технических наук | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 с., 25 рис., 16 табл., 11 источников.

Ключевые слова: моментный двигатель, ленточная намотка, реакция якоря, деформация магнитного потока.

Объектом исследования является моментный двигатель с ленточной намоткой.

Цель работы – оценка деформации основного магнитного потока моментного двигателя собственным магнитным полем ленточной намотки.

В процессе работы проводились: аналитические и экспериментальные исследования деформации основного магнитного потока в зазоре моментного двигателя собственным магнитным полем ленточной намотки. Проведена оценка параметров от которых зависит момент, развиваемый моментным двигателем с ленточной намоткой.

Степень внедрения: в стадии внедрения

Область применения: электромеханический исполнительный орган аппаратов и систем.

Определения, обозначения, сокращения

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Моментный двигатель – электромеханический преобразователь, для которого входным сигналом является переменный или постоянный ток, а выходным – большой электромагнитный момент.

Ленточная намотка – активный элемент моментного двигателя, представляющий из себя токопроводящую ленту с характерными вырезами.

Единичная пластина – фрагмент ленточной намотки, располагающийся между вырезов. При исследовании ленточная намотка представляется как совокупность единичных пластин.

Магнитный поток - физическая величина, равная плотности потока силовых линий магнитного поля, проходящих через бесконечно малую площадку

| | |
|--|----|
| 5.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..... | 53 |
| 6. Профессиональная социальная ответственность..... | 56 |
| 6.1. Анализ вредных и опасных факторов..... | 56 |
| 6.1.1. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны . | 57 |
| 6.1.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны | 59 |
| 6.1.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений..... | 59 |
| 6.1.4. Электрический ток | 61 |
| 6.2. Экологическая безопасность | 62 |
| 6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 63 |
| 6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности..... | 66 |
| 6.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства..... | 66 |
| 6.5. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны | 68 |
| Список используемых источников..... | 72 |
| Приложение А | 75 |

Введение.

В настоящее время моментные двигатели получают всё большее применение в различных областях науки и техники. Их применение позволяет решать широкий ряд задач с большей точностью и экономичностью, а также меньшей конструктивной сложностью аппарата или системы.

В связи с развитием методов проектирования, появлением новых материалов и методов изготовления появилась возможность разрабатывать новые типы моментных двигателей. Одним из таких двигателей является моментный двигатель с ленточной намоткой.

Ранее был разработан и сконструирован макет моментного двигателя. С помощью данного макета проводились экспериментальные исследования моментного двигателя с ленточной намоткой. Параллельно с экспериментальными исследованиями, проводились аналитические исследования в программных продуктах COMSOL Multiphysics и Agros 2D. [1]

В данной работе рассмотрены факторы, влияющие на момент, создаваемый двигателем и проведена оценка деформации основного магнитного потока в зазоре моментного двигателя собственным магнитным полем ленточной намотки. Так же проведены экспериментальные и аналитические исследования моментного двигателя с ленточной намоткой.

1. Моментный двигатель с ленточной намоткой

1.1 Моментные двигатели

Моментный двигатель — это электромеханический преобразователь, для которого входным сигналом является переменный или постоянный ток, а выходным — большой электромагнитный момент. Особенности моментного двигателя являются отсутствие либо малая частота вращения ротора в рабочем режиме [2]. Приводы на основе моментных двигателей зачастую имеют меньше узлов и являются прямыми приводами. Данная особенность позволяет повысить надёжность и эффективность систем в которых они используются.

Основными достоинствами современных моментных двигателей являются [3]:

1. Повышенное быстродействие.
2. Отсутствие редуктора. Данная особенность позволяет избежать наличия люфтов в кинематической передаче, а, следовательно, обеспечить высокую точность и повторяемость.
3. Малое потребление энергии.
4. Низкий уровень шума.
5. Компактные габариты. Моментные двигатели, как правило, имеют большой диаметр и малую высоту, поскольку зависимость момента от диаметра двигателя — квадратичная, а от высоты — линейная.
6. Длительный межсервисный интервал, связанный с отсутствием коллекторно-щёточного узла и редуктора.
7. Низкие тепловые потери.

В связи с данными особенностями моментные двигатели нашли применение в следующих областях [4]:

1. Системы стабилизации с повышенным быстродействием и точностью.
2. Системы в которых необходима повышенная надёжность и срок службы.

3. В качестве исполнительных органов роботизированных систем и манипуляторов.
4. В станкостроении (высокоточные поворотные и делительные столы)
5. В различных бытовых приборах.
6. В случаях необходимости замены гидравлики на механику.

Использование моментного двигателя в качестве неточного привода нецелесообразно из-за его большой стоимости. Так же из-за больших потерь, обусловленных вихревыми токами на больших частотах вращения, нецелесообразно использование моментных двигателей в качестве тягового электропривода и в роли генератора для ветряных и гидроэлектростанций.

Исходя из областей применения и выполняемых задач, можно выделить основные требования к моментным электродвигателям [3].

1. Минимальные массогабаритные характеристики. Зачастую моментные двигатели являются встраиваемой в конструкцию системой и не имеют вала и подшипников. В таких случаях массогабаритные параметры двигателя обуславливаются конструкцией системы.
2. Минимальная потребляемая мощность. С увеличением потребляемой мощности увеличивается нагрев двигателя, что приводит к дестабилизации характеристик системы.
3. Высокая пороговая чувствительность.
4. Минимальные электромагнитная и электромагнитная постоянные времени обеспечивающие быстродействие системы и исключают её неустойчивость.

Существует большое количество критериев для классификации моментных двигателей [3.4]. Основными критериями являются назначение, принцип действия, конструктивное исполнение и род питающего тока. По способу создания основного магнитного потока, моментные двигатели можно разделить на двигатели с возбуждением от постоянных магнитов и двигатели с электромагнитным возбуждением. Можно классифицировать двигатели по расположению якорной обмотки, которая может располагаться как на роторе, так

и на статоре двигателя. Помимо этого, имеются разные способы подачи тока на обмотку управления: коллекторный, вентильный или с гибкими токоподводами. Так же моментные двигатели могут отличаться друг от друга диапазоном углов поворота, количеством пар полюсов и многими другими признаками.

Использование новых материалов, а также применение современных средств разработки и проектирования открывает большие перспективы использования моментных двигателей в качестве исполнительного органа различных систем и аппаратов.

1.2 Основные понятия, конструкция и принцип работы ленточного моментного двигателя

Исследуемый моментный двигатель является электромеханическим преобразователем с постоянными магнитами, активным элементом которого является ленточная намотка. Конструкция ленточного моментного двигателя состоит из внешней и внутренней магнитных систем, гильзы и ленточной намотки. [5] Схема конструкции ленточного моментного двигателя представлена на рисунке 1.

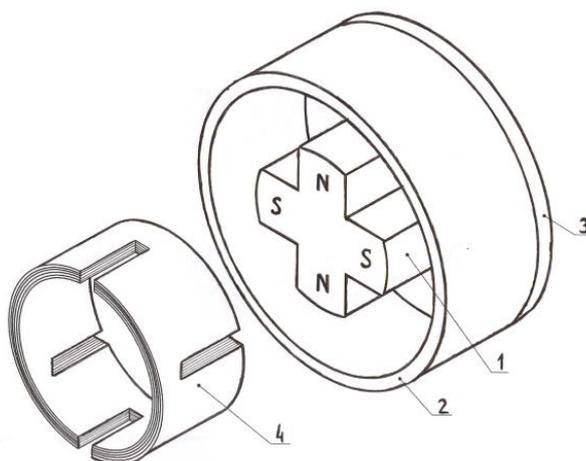


Рисунок 1 - Основные элементы моментного двигателя

1 – постоянный магнит, 2 – магнитопровод, 3 – гильза, 4 – ленточная намотка.

Ленточная намотка представляет собой спирально намотанную на гильзу ленту. Гильза является элементом корпуса двигателя. Лента выполнена из электропроводящего материала и покрыта слоем электроизоляции. Для задания определённого характера протекания тока, по боковым краям ленты имеются поперечные вырезы. Расстояние между центрами вырезов равно полюсному делению магнитной системы ротора. Если к началу и концу ленты подключить источник постоянного тока, то характер протекания тока определяется наличием в ленте поперечных вырезов. На рисунке 1 показано, что ток J имеет две компоненты: J_l - продольную, направленную вдоль ленты, и J_t – поперечную, направленную поперек ленты в направлении, совпадающем с осью вращения ротора моментного двигателя. Полюсы магнита ротора на рисунке отображены прямоугольниками N и S. Взаимодействие компонент тока J_t с магнитным полем приводит к появлению сил F , действующих на магнит. Суммарное действие этих сил приводит к появлению вращающего момента, который стремится повернуть магнитную систему относительно неподвижной намотки. Продольные составляющие тока J_l вызывают появление сил P , которые действуют со стороны магнита на опоры подвеса ротора [1].

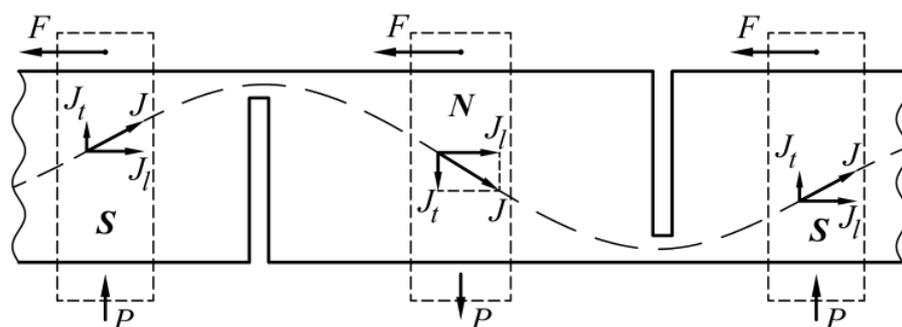


Рисунок 2 - Фрагмент ленточного активного элемента.

Ранее, для проведения натуральных экспериментов, был создан макет ленточного моментного двигателя (Рисунок 3). С помощью данного макета были получены экспериментальные данные о характеристиках ленточного моментного двигателя, которые в последствии были сопоставлены с данными аналитических исследований.

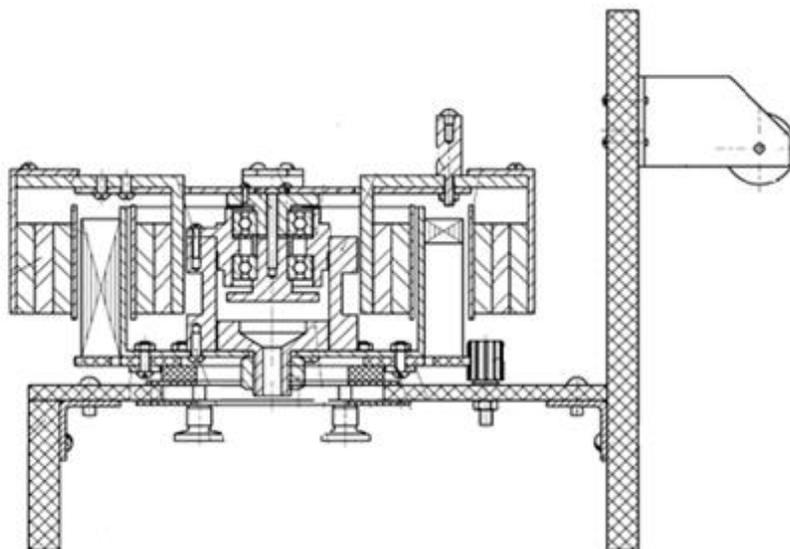


Рисунок 3 – Эскиз макета моментного двигателя с ленточной намоткой.

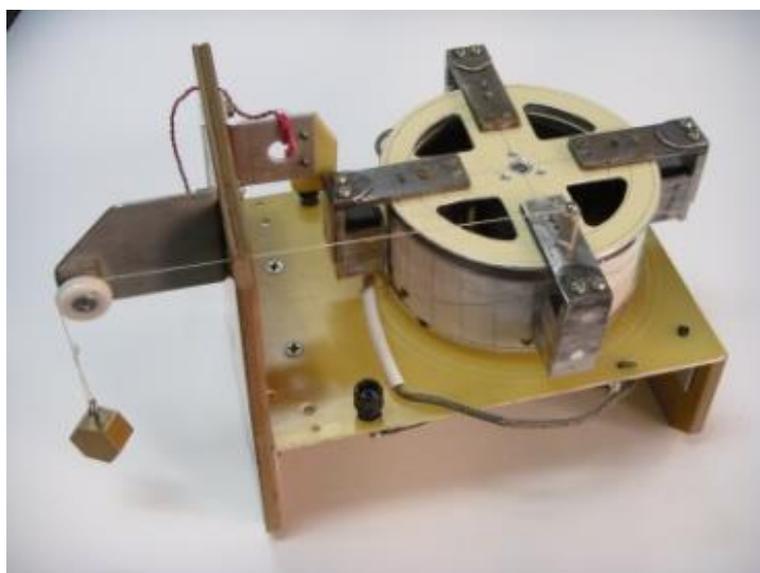


Рисунок 4 – Макет моментного двигателя с ленточной намоткой.

Предложенный вариант активного элемента имеет следующие преимущества:

- позволяет реализовать новый конструкторско-технологический подход к изготовлению статора двигателя;
- обеспечивает большую линейную нагрузку за счет протекания по намотке большего тока и хорошего отвода тепла на корпус двигателя;

- конструкция и технология изготовления такого активного элемента допускает формирование необходимой функциональной зависимости моментной характеристики двигателя.

Основными источниками тепла, выделяемого при протекании тока, будут сужения ленты, образованные вырезами. Однако указанные участки будут охлаждаться за счет оттока тепла в те зоны ленты, где плотность тока невысока, а поверхности охлаждения имеют достаточные размеры. При этом необходимо учесть тот факт, что контактная поверхность активного элемента и трубчатой части корпуса двигателя, на которой монтируется (наматывается) активный элемент, также имеет достаточные размеры для эффективного сброса тепла на корпус, охлаждение которого, в том числе и принудительное, большой технической проблемы не представляет.

2. Момент ленточного моментного двигателя

2.1 Зависимость развиваемого момента от параметров двигателя.

Для определения момента, создаваемого двигателем, представим ленточную намотку как совокупность единичных пластин. Сила, создаваемая единичной пластиной, определяется следующим образом [6]:

$$F_1 = B(\delta) \cdot \Delta \cdot \frac{U}{2p \cdot R \cdot N} \cdot \frac{1}{I_0} \cdot D(x, y, I_0)_{x_c}, \quad (2.1)$$

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.

Далее в многовитковой намотке выделим пакет пластин, расположенных одна над другой. Данные пластины будут практически идентичными.

Определим момент M_0 , который может быть создан упомянутым пакетом пластин, находящихся под действием потока одного полюса магнитной системы

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

где

$$\begin{aligned} M_{01} &= F_1 \cdot r_0; \\ M_{02} &= F_1 \cdot (r_0 + \Delta); \\ &\dots\dots\dots; \\ M_{0N} &= F_1 \cdot [r_0 + (N - 1) \cdot \Delta]. \end{aligned}$$

В данном случае r_0 – средний радиус первого витка намотки.

Проведем суммирование моментов M_{0i} , учитывая, что

$$1 + 2 + 3 + \dots + (N - 1) = \frac{(N - 1) \cdot N}{2},$$

Получим

$$\begin{aligned} M_0 &= N \cdot F_1 \cdot r_0 + F_1 \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot (N - 1) \cdot N = \\ &= \frac{\Delta}{2} \cdot N \cdot F_1 \cdot [N + (\frac{2r_0}{\Delta} - 1)] \end{aligned}$$

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

$$M = 2p \cdot M_0 = p \cdot \Delta \cdot N \cdot F_1 \cdot [N + (\frac{2r_0}{\Delta} - 1)]. \quad (2.2)$$

Затем, Подставив в полученное выражение (3.2) величину силы единичной пластины (3.1), получаем выражение для момента двигателя с ленточной намоткой

$$M = \frac{\Delta^2}{2} \cdot \frac{U}{I_0 \cdot R} \cdot B(\delta) \cdot [N + (\frac{2r_0}{\Delta} - 1)] \cdot D(x, y, I_0)_{x_c}. \quad (2.3)$$

В выражение (2.3) 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. Данные положения будут доказаны ниже.

Из уравнения (2.3) получим, что параметрами, влияющими на развиваемый двигателем момент, являются: число витков катушки, число пар полюсов, геометрические параметры пластины и её контактов, а также сопротивление пластины. Влияние каждого из параметров будет подробно рассмотрено далее.

2.2 Зависимость момента двигателя от числа витков ленточной катушки

Ранее приведённое уравнение (2.3) показывает, что с увеличением числа витков N , а, следовательно, и активных элементов. будет увеличиваться момент, развиваемый двигателем. Но при этом во столько же раз увеличивается сопротивление катушки, в следствие чего уменьшается ток. В итоге число витков ленточной катушки практически не влияет на величину развиваемого момента.

При увеличении среднего радиуса катушки момент увеличивается незначительно:

$$r_{cp} = \frac{\Delta}{2} \left[N + \left(\frac{2r_0}{\Delta} - 1 \right) \right] \quad (2.4)$$

Результатом проведённых аналитических исследования является закономерность, показывающая, что момент, развиваемый двигателем, в большей степени зависит от изменения индукции в зазоре. Учитывая, что с увеличением числа витков N растёт воздушный зазор, что приводит к уменьшению индукции, число витков должно быть минимальным. Стоит учесть, что при уменьшении числа витков возрастает ток. Оптимальное количество витков в катушке может быть определено следующим неравенством:

$$\frac{U}{R \cdot N \cdot 2p} \leq I_{don}, \quad N \geq \frac{U}{2p \cdot R \cdot I_{don}}. \quad (2.5)$$

Допустимый ток зависит от параметров источника питания и тепловых характеристик материала из которого изготовлена лента.

2.3. Зависимость момента от числа пар полюсов

Как было описано ранее, число пар полюсов не используется при расчёте развиваемого двигателем момента. Однако, его влияние проявляется в ряде величин, таких как: двойной интеграл $D(x, y, I_0)_{x_c}$, сопротивление единичной пластины R и индукция в воздушном зазоре. Предположим, что величины Δ , U , I_0 , N , r_0 в выражении (2.3) являются постоянными. При этих условиях из (2.3) получаем:

$$M = k \cdot \frac{D(x, y, I_0)_{x_c}}{R} \cdot B(\delta), \quad (2.6)$$

$$\text{где } k = \frac{\Delta^2}{2} \cdot \frac{U}{I_0} \cdot \left[N + \left(\frac{2r_0}{\Delta} - 1 \right) \right].$$

Для оценки характера изменения момента от перечисленных ранее величин, будем использовать величину относительного момента

$$k_M = \frac{M_i}{M_1}, \quad (2.7)$$

где M_1 – момент в случае одной пары полюсов ($p=1$); M_i – момент при $p=i$ пар полюсов.

Распишем выражение для относительного момента (2.7), учитывая (2.6)

$$k_M = \frac{M_i}{M_1} = \frac{k}{k} \cdot \frac{B_i}{B_1} \cdot \frac{R_1}{R_i} \cdot \frac{D_i(x, y, I_0, x_c)}{D_1(x, y, I_0, x_c)} = \left(\frac{B_i}{B_1} \right) \cdot \left(\frac{R_1}{R_i} \right) \cdot \left[\frac{D_i(x, y, I_0, x_c)}{D_1(x, y, I_0, x_c)} \right]. \quad (2.8)$$

Для оценки величин относительного момента необходимо определить значения сомножителей, входящих в выражение (2.8) для различного числа пар полюсов.

Полученная величина относительного момента k_M позволяет определить необходимые характеристики при различном количестве пар полюсов [6].

Так же стоит учитывать, что изменение числа пар полюсов влияет на мощность, потребляемую двигателем [7].

2.4. Влияние размеров контактов на характеристику развиваемой силы

Перейдём к оценке влияния геометрических параметров намотки на развиваемый двигателем момент. Влияние размеров контактов и единичной пластины будем рассматривать отдельно. Данное разделение обусловлено тем, что от геометрических параметров контакта зависит максимальная сила тока, который может протекать по намотке, а от геометрических параметров пластины зависит сопротивление намотки.

Проведём оценку влияния геометрии контактов на силу, с которой пластина с током воздействует на постоянный магнит. Для определения силы воздействия пластины с током на постоянный магнит используется выражения

$$F_x = B \cdot \Delta \cdot \int_{(x-c/2)}^{(x+c/2)} \int_0^b j_y(x, y) \cdot dx \cdot dy.$$

С помощью программного продукта COMSOL проводится интегрирование компоненты плотности тока j_y для определения двойного интеграла.

Для исследования было введено понятие относительной ширины контакта $\beta_k = b_k/b$, где b_k – ширина контакта (рисунок 5).

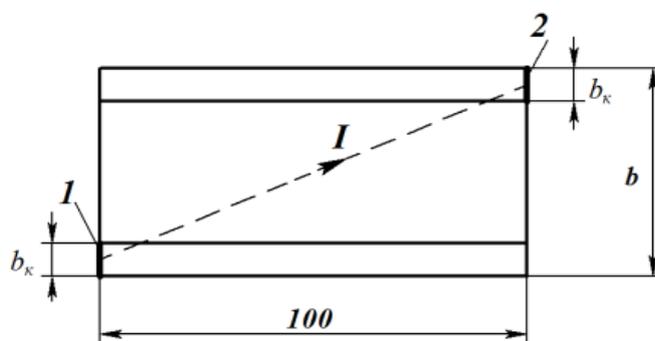


Рисунок 5 – Единичная пластина

При проведении анализа использовали следующие параметры: $a=100$ мм; $c=20$ мм; $B=0,2$ Тл; $\Delta=0,1$ мм; $b=50$ мм. Относительная ширина контакта была

задана в диапазоне $\beta_k = 0,1 \div 0,5$, так при $\beta_k > 0,5$ часть тока будет протекать параллельно длине пластины, поперечные составляющие тока I_y уменьшатся, и полезный эффект эта часть тока создавать не будет.

Значение тока I , протекающего через контакт, при неизменном напряжении $U=0,01$ В, приложенном к пластине между контактами 1 и 2, зависит от относительной ширины контакта β_k , так как при изменении площади поперечного сечения контакта изменяется активное сопротивление пластины и ток I , что демонстрируется результатами численного эксперимента (рисунок 6).

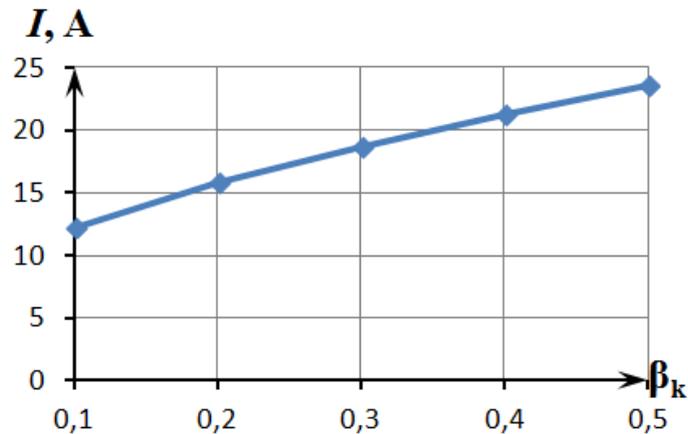


Рисунок 6 – Зависимость тока от ширины контакта при неизменном напряжении

На представленном графике видно, что зависимость двойного интеграла от тока, протекающего через контакты пластины линейна. Поэтому выражение (2.1) запишем в виде

$$F_x = \frac{B \cdot \Delta}{I_0} \cdot I(\beta_k) \cdot D(x, y, I_0, \beta_k), \quad (2.9)$$

где $I_0 = 1$ А – начальное значение тока, протекающего через контакт; $D(x, y, I_0, \beta_k)$ – значение двойного интеграла, определяемое каждый раз при токе I_0 для различных значений β_k .

На рисунке 7 показан график изменения величины двойного интеграла при изменении относительной ширины контакта. Кривая 1 описывает случай, когда источник магнитного поля находится у края пластины, кривая 2 – в центре

пластины. Результаты получены при условии, что через контакты протекает неизменный ток I_0 .

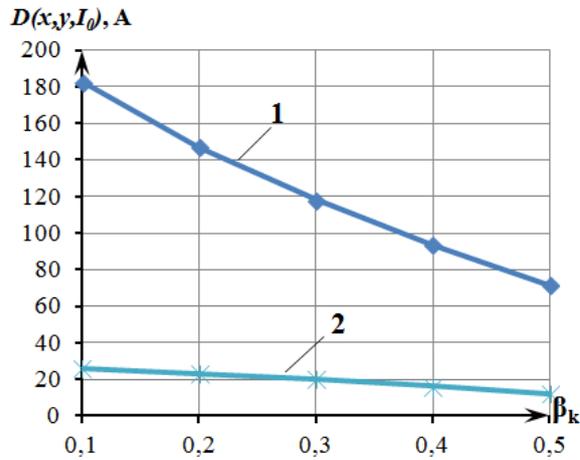
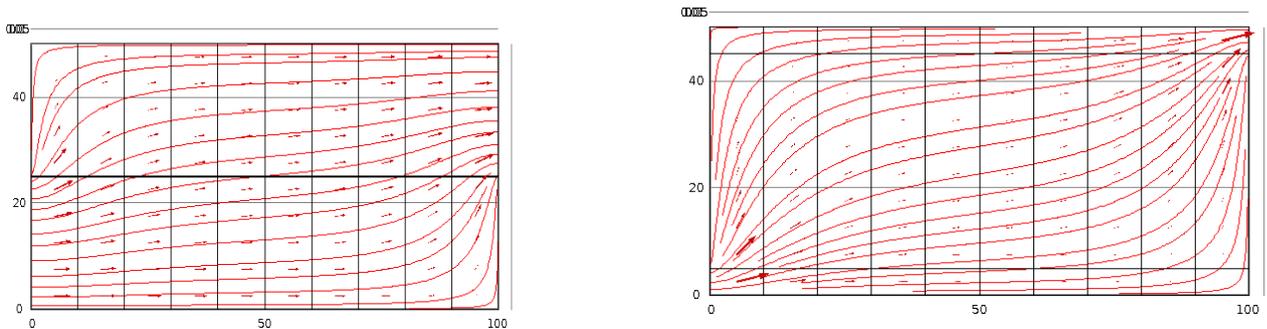


Рисунок 7 – Зависимость двойного интеграла от относительной ширины контакта при неизменном токе

Падающий характер данной характеристики объясняется тем, что при увеличении относительной ширины контакта линии распределенного тока, протекающего по пластине, становятся менее крутыми (рисунок 8), уменьшаются поперечные составляющие плотности тока j_y , которые подвергаются интегрированию.



а)

б)

Рисунок 8 – Вид линий тока, протекающего по пластине:

а – при $\beta_k = 0,1$; б – при $\beta_k = 0,5$

Следовательно, при увеличении β_k увеличивается ток $I(\beta)$ и уменьшается значение двойного интеграла $D(x, y, I_0, \beta_k)$. Таким образом проявляется одновременное воздействие двух переменных от которых зависит величина

развиваемой силы. Результирующая сила, являющаяся произведением описанных ранее функций, имеет вид, представленный на рисунке 9. Так как обе функции имеют нелинейный характер, график результирующей силы имеет экстремум при определённом значении относительной величины контакта [6].

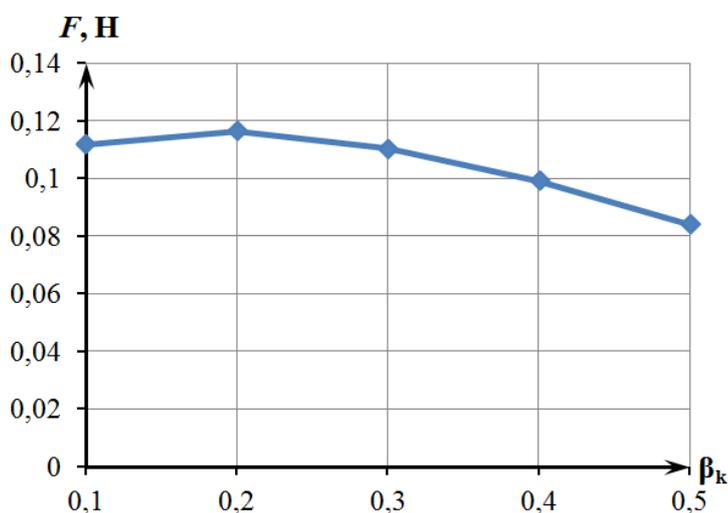


Рисунок 9 – Зависимость результирующей силы от относительной ширины контакта

2.5. Сопротивление единичной пластины.

От геометрических параметров катушки напрямую зависит её сопротивление, а, следовательно, и развиваемый двигателем момент. Оценка сопротивления пластины от её геометрических параметров проводилась в программном продукте COMSOL Multiphysics [11].

Для определения сопротивления единичной пластины в модуле Electric Currents была построена геометрическая модель пластины (рисунок 10).

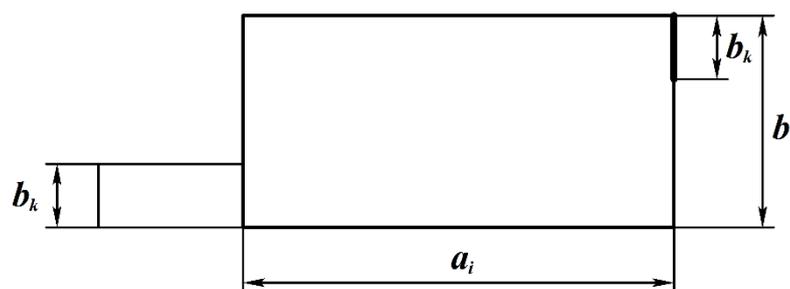


Рисунок 10 – Геометрическая модель пластины

Сопротивление определялось при различных соотношениях длины a_i и ширины b пластины $\beta = a/b$. При этом ширина в каждом случае была постоянной. Расчет сопротивления пластины проводился следующим образом: задавалась разность потенциалов контактов (10^{-3} В), определялся интеграл нормальной плотности тока по поверхности левого контакта (ток через контакт) и по закону Ома определялось сопротивление пластины с учетом левого контакта. Увеличенная длина левого контакта позволила более точно определить ток, протекающий по пластине. Это объясняется тем, что в COMSOL ток через контактную поверхность можно определить через нормальную плотность тока. В правой части пластины (см. рисунок 10) при определении тока через контакт, тангенциальная компонента тока существенно искажает результаты расчетов. При определении данной компоненты в программе на границе пластины получаются аномально маленькие значения, которые далеки от действительности. Однако выяснено, что при длине левого контакта 20-25 мм, разница между вычисленными значениями тока, втекающего в пластину через левый контакт и вытекающего через правый, достигает до 8% [8]. Сопротивление левого контакта определено отдельно, его вычитание из полного сопротивления дает возможность узнать сопротивление пластины при протекании по ней распределенного тока. Характер изменения сопротивления единичной пластины от соотношения ее длины и ширины был получен для четырех различных вариантов относительной ширины контакта приложения напряжения β_k (рисунок 11). В этих расчетах приняты следующие характеристики пластины:

материал медь с удельной проводимостью $5,99 \cdot 10^7 \text{ СМ/М}$; толщина пластины $\Delta = 10^{-4} \text{ м}$; ширина пластины $b = 0,05 \text{ м}$; начальная длина $a_1 = 0,12 \text{ м}$.

Для каждой ширины контакта наблюдается некоторое минимальное значение сопротивления.

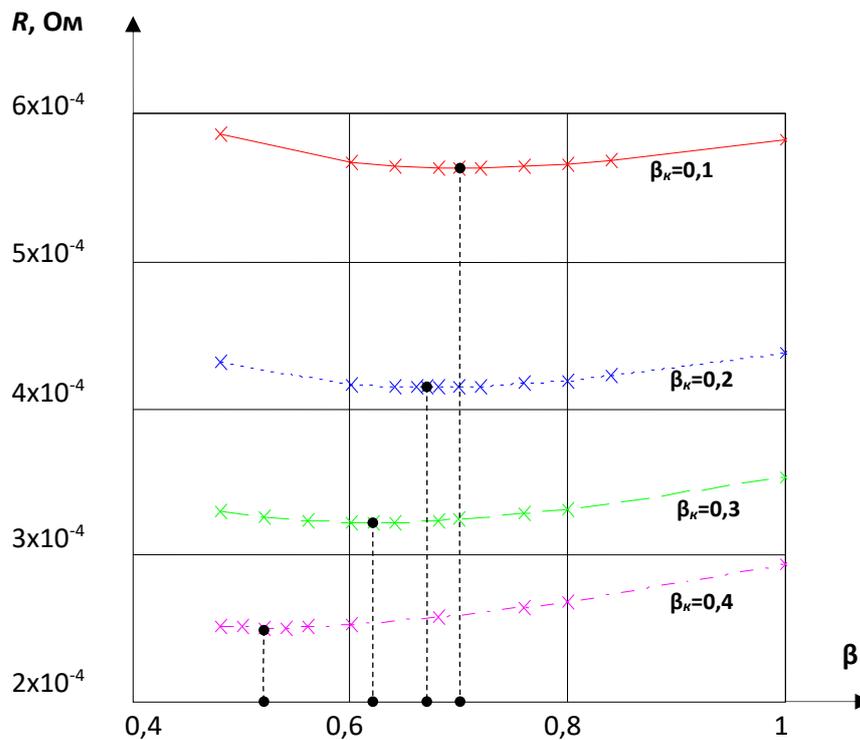


Рисунок 11 – Зависимость сопротивления единичной пластины от соотношения ее длины и ширины

3. Магнитное поле моментного двигателя с ленточной намоткой

Активный элемент ленточного моментного двигателя является проводником с постоянным током, помещенным в основной магнитный поток двигателя, создаваемый постоянными магнитами. Так как по активному элементу моментного двигателя протекает ток, в нём создаётся собственное магнитное поле, которое может оказывать воздействие на основной магнитный поток и деформировать его. Многие источники указывают на то, что влияние собственного магнитного поля намотки на основной магнитный поток, создаваемый высококоэрцитивными магнитами практически отсутствует.

Несмотря на это, влияние собственного магнитного поля активного элемента на основной поток при использовании ленточной намотки может быть существенным, так как она обладает способностью пропускать большие токи, которые создают магнитные поля, искажающие основной магнитный поток. Данная особенность может значительно повлиять на расчетные эксплуатационные характеристики двигателя. [6]

3.1. Магнитное поле прямоугольного проводника с током.

Первым этапом в оценке воздействия собственного магнитного поля ленточной намотки на основной магнитный поток двигателя, является исследование магнитного поля прямоугольного проводника с током [9].

Рассмотрим поперечное сечение проводника в системе координат XOY (рисунок 1). Ширина проводника b , его толщина Δ , длина проводника $L \gg b, \Delta$. По проводнику протекает постоянный ток J с соответствующей плотностью $j(x, y)$. Разобьем поперечное сечение проводника на бесконечно большое число нитей тока сечением $dS = dx \cdot dy$. Положение элементарной площадки dS характеризуется текущими координатами x, y . Напряженность магнитного поля, создаваемая элементарной нитью тока в заданной точке $M(x_0, y_0)$ определится выражениями

$$dH_x(x_0, y_0) = \frac{j(x, y)}{2\pi} \cdot \frac{(y_0 - y)}{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} dx \cdot dy; \quad (3.1)$$

$$dH_y(x_0, y_0) = \frac{j(x, y)}{2\pi} \cdot \frac{(x_0 - x)}{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} dx \cdot dy. \quad (3.2)$$

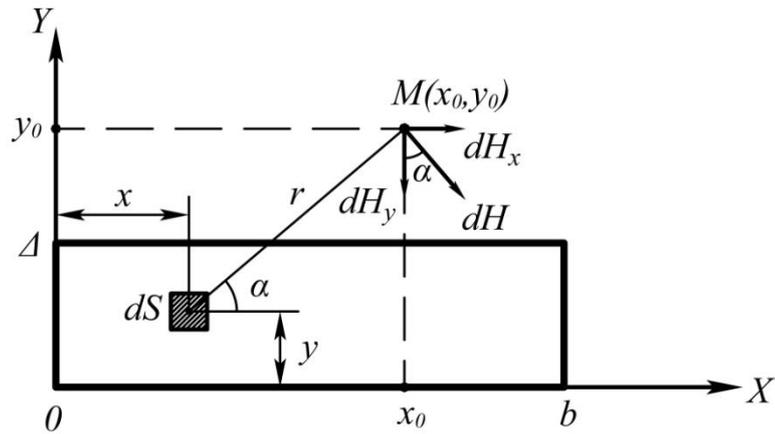


Рисунок 12 - Поперечное сечение прямоугольного проводника с током

Указанные выражения получены из формул и соотношений, следующих из рисунка 1

$$H = \frac{J}{2\pi r},$$

$$r = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2},$$

$$\sin \alpha = \frac{(y_0 - y)}{\sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2}}, \quad \cos \alpha = \frac{(x_0 - x)}{\sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2}}.$$

Так как в моментном двигателе [4] основным является поток, направленный перпендикулярно ширине пластины b , направленной по оси X , то внимание в дальнейшем будем обращать на компоненту напряженности $H_y(x_0, y_0)$. В данной работе предполагаем, что плотность тока $j(x, y)$ по всему сечению проводника одинакова $j(x, y) = j = const$. Нормальная к поверхности проводника компонента напряженности $H_y(x_0, y_0)$ определяется двойным интегралом от выражения (2.2)

$$H_y(x_0, y_0) = \frac{j}{2\pi} \int_0^\Delta \int_0^b \frac{(x_0 - x)}{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} dx \cdot dy. \quad (3.3)$$

Так как в дальнейших исследованиях предполагается учитывать, что плотность тока является функцией $j(x)$, первое интегрирование проводим по y в пределах от 0 до Δ . Учитывая, что интеграл является табличным [5], получаем

$$H_y(x_0, y_0) = \frac{j}{2\pi} \int_0^b \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{2 \cdot y_0}{x_0 - x} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{2(y_0 - \Delta)}{x_0 - x} \right) \right] dx. \quad (3.4)$$

Дальнейшее определение интеграла (4) проведено в программе MathCad. Для этого выражение (4) преобразовано к виду

$$H_y(x_0, y_0) = \frac{j}{2\pi} \int_0^b \operatorname{arctg} \left(\frac{2 \cdot \Delta(x_0 - x)}{(x_0 - x)^2 + 4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)} \right) dx = \int_0^b \operatorname{arctg} \left(\frac{a \cdot z}{z^2 + c} \right) dz. \quad (3.5)$$

В выражении (5) произведены следующие замены: $a = 2 \cdot \Delta$; $c = 4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)$; $z = x_0 - x$; $dx = -dz$.

В результате вычислений интеграла (3.5) в программе MathCad получено выражение

$$H_y(x_0, y_0) = -\frac{j}{2\pi} \cdot \left[\ln \left(c + \frac{a^2}{2} + 2 \cdot a \sqrt{\frac{a^2}{16} + \frac{c}{4} + z^2} \right) \cdot \left(\frac{a}{4} + \sqrt{\frac{a^2}{16} + \frac{c}{4}} \right) + z \cdot \tan^{-1} \left(\frac{a \cdot z}{z^2 + c} \right) + \ln \left(c + \frac{a^2}{2} - 2 \cdot a \sqrt{\frac{a^2}{16} + \frac{c}{4} + z^2} \right) \cdot \left(\frac{a}{4} - \sqrt{\frac{a^2}{16} + \frac{c}{4}} \right) \right] \Big|_0^b,$$

которое после замены переменных можно представить в виде

$$\begin{aligned} H_y(x_0, y_0) = & -\frac{j}{2\pi} \left[\ln \left(4 \cdot y_0(y_0 - \Delta) + \frac{(2 \cdot \Delta)^2}{2} + 4 \cdot \right. \right. \\ & \Delta \sqrt{\frac{(2 \cdot \Delta)^2}{16} + \frac{4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)}{4} + (x_0 - b)^2} \left. \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta}{4} + \sqrt{\frac{(2 \cdot \Delta)^2}{16} + \frac{4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)}{4}} \right) + (x_0 - b) \cdot \\ & \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot \Delta(x_0 - b)}{(x_0 - b)^2 + 4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)} \right) + \ln \left(4 \cdot y_0(y_0 - \Delta) + \frac{(2 \cdot \Delta)^2}{2} - 4 \cdot \right. \\ & \Delta \sqrt{\frac{(2 \cdot \Delta)^2}{16} + \frac{4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)}{4} + (x_0 - b)^2} \left. \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta}{4} - \sqrt{\frac{(2 \cdot \Delta)^2}{16} + \frac{4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)}{4}} \right) - \ln \left(4 \cdot \right. \\ & y_0(y_0 - \Delta) + \frac{(2 \cdot \Delta)^2}{2} + 4 \cdot \Delta \sqrt{\frac{(2 \cdot \Delta)^2}{16} + \frac{4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)}{4} + x_0^2} \left. \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta}{4} + \sqrt{\frac{(2 \cdot \Delta)^2}{16} + \frac{4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)}{4}} \right) - \\ & x_0 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot \Delta \cdot x_0}{x_0^2 + 4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)} \right) - \ln \left(4 \cdot y_0(y_0 - \Delta) + \frac{(2 \cdot \Delta)^2}{2} - 4 \cdot \right. \\ & \left. \Delta \sqrt{\frac{(2 \cdot \Delta)^2}{16} + \frac{4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)}{4} + x_0^2} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta}{4} - \sqrt{\frac{(2 \cdot \Delta)^2}{16} + \frac{4 \cdot y_0(y_0 - \Delta)}{4}} \right) \Big]. \quad (3.6) \end{aligned}$$

После подстановки в полученное выражение значений $b = 0.05$ м; $\Delta = 0.005$ м; $y_0 = 1.02 \cdot \Delta = 5.1 \cdot 10^{-3}$ м, учитывая ток, протекающий по проводнику $J = 2500$ А и связь между напряженностью и индукцией в немагнитном пространстве $B = \mu_0 \cdot H$, получена графическая зависимость (рисунок 13), связывающая нормальную к поверхности проводника индукцию магнитного поля на удалении от упомянутой поверхности на 0.1 мм и координату, направленную вдоль ширины проводника.

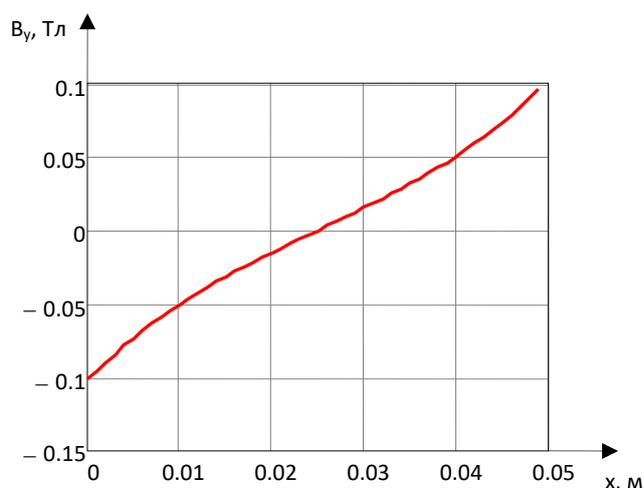


Рисунок 13 - Аналитически полученная зависимость индукции магнитного потока вдоль ширины проводника

Аналогичные исследования были проведены с помощью программного продукта конечноэлементного моделирования COMSOL Multiphysics. Решение численными методами вышеупомянутой задачи при тех же самых исходных данных приведено на рисунке 14. При этом распределение индукции магнитного потока, направленной нормально к поверхности пластины вдоль ширины пластины показано на рисунке 15.

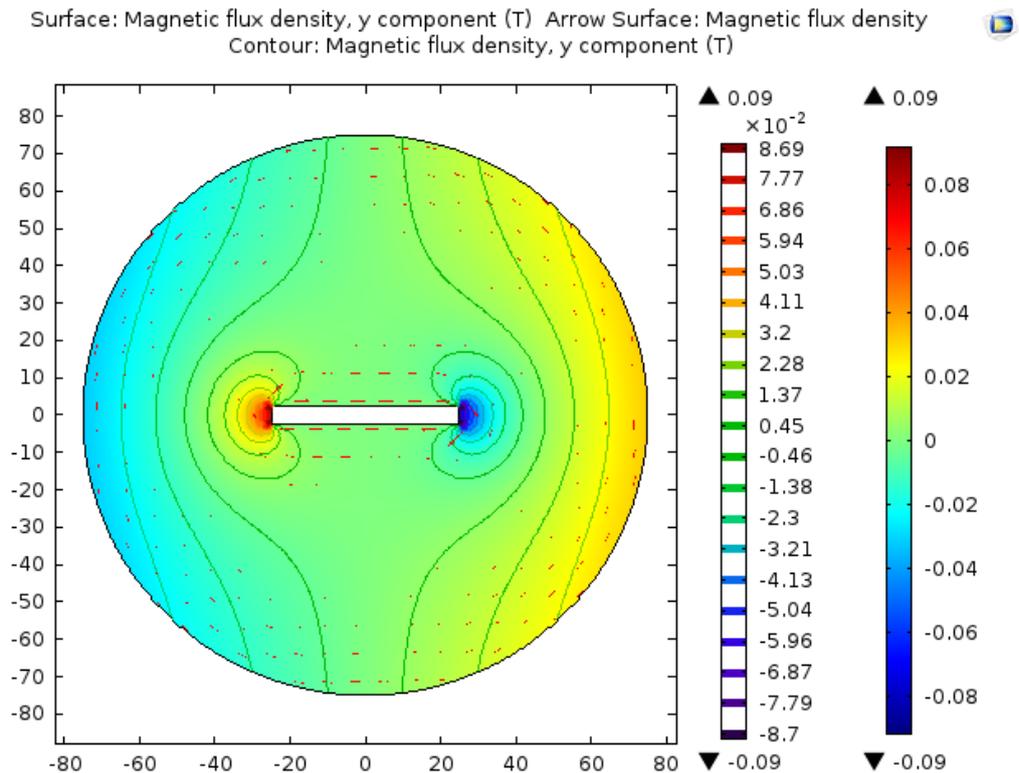


Рисунок 14 – Решение задачи в среде COMSOL Multiphysics

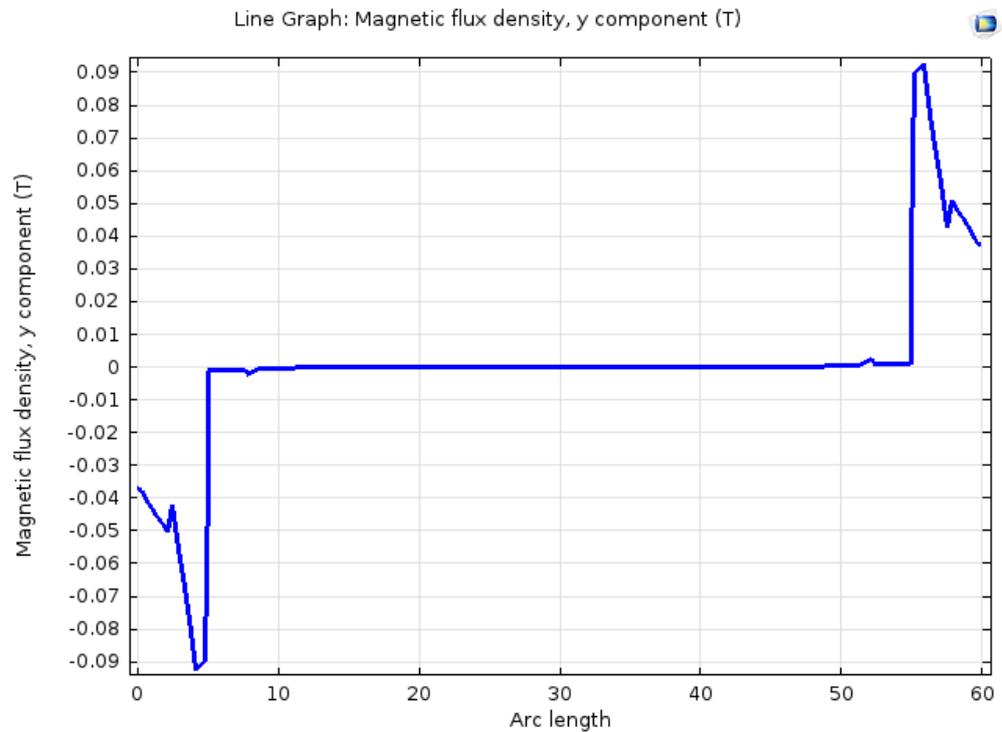


Рисунок 15 - Индукция магнитного поля вдоль ширины пластины
полученная в COMSOL Multiphysics

Сравнивая результаты, отображенные на рисунках 14 и 15, можно отметить следующее:

- общая закономерность изменения индукции вдоль ширины проводника заключается в том, что максимумы индукции наблюдаются у боковых краев проводника, а минимальные значения индукции (смена знака) - в центре поверхности проводника; - рассчитанные значения индукции (максимумы порядка 0.1 Тл) показывают, что в ряде случаев, когда индукция основного потока в зазоре (при отсутствии номинального тока в проводнике) находится в пределах 0.5 - 1.0 Тл, влияние магнитного потока, вызванного током в проводнике может изменить ожидаемые расчетные эксплуатационные характеристики двигателя.

3.2. Магнитное поле ленточной намотки.

3.3 Деформация основного магнитного потока.

4. Экспериментальная оценка деформации основного магнитного потока двигателя.

4.1. Конструкция и принцип работы экспериментальной установки.

4.2. Методика и проведение эксперимента.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

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

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, *сегмент рынка* – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др.

Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст; пол; национальность; образование; уровень дохода; социальная принадлежность; профессия и др.

Из выявленных критериев целесообразно выбрать два наиболее значимых для рынка. На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка.

5.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 1. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
(разработок)

| Критерии оценки | Вес критерии | 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 | 0,1 | 5 | 4 | 3 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,05 | 5 | 5 | 5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| 3. Помехоустойчивость | 0,05 | 5 | 4 | 4 | 0,25 | 0,2 | 0,2 |
| 4. Энергоэкономичность | 0,03 | 4 | 4 | 5 | 0,12 | 0,12 | 0,15 |
| 5. Надежность | 0,07 | 5 | 5 | 3 | 0,35 | 0,35 | 0,21 |
| 6. Уровень шума | 0,03 | 5 | 5 | 5 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 7. Безопасность | 0,09 | 5 | 3 | 5 | 0,45 | 0,27 | 0,45 |
| 8. Потребность в ресурсах памяти | 0,05 | 4 | 4 | 4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности) | 0,03 | 4 | 4 | 5 | 0,12 | 0,12 | 0,15 |
| 10. Простота эксплуатации | 0,05 | 5 | 4 | 5 | 0,25 | 0,2 | 0,25 |
| 11. Качество интеллектуального интерфейса | 0,05 | 5 | 5 | 5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| 12. Возможность подключения в сеть ЭВМ | 0,05 | 5 | 5 | 5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| 1. Конкурентоспособность продукта | 0,15 | 5 | 5 | 4 | 0,75 | 0,75 | 0,6 |
| 2. Уровень проникновения на рынок | 0,1 | 5 | 5 | 5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 3. Цена | 0,02 | 4 | 4 | 5 | 0,08 | 0,08 | 0,1 |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,02 | 5 | 5 | 5 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 5. Послепродажное обслуживание | 0,03 | 5 | 5 | 5 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |

| | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|---|---|---|------|------|------|
| 6. Финансирование научной разработки | 0,01 | 5 | 5 | 4 | 0,05 | 0,05 | 0,04 |
| 7. Срок выхода на рынок | 0,01 | 5 | 5 | 5 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 8. Наличие сертификации разработки | 0,01 | 5 | 5 | 5 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Итого | 1 | | | | 4,87 | 4,49 | 4,4 |

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, следует объяснить:

- чем обусловлена уязвимость позиции конкурентов и возможно занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка;
- в чем конкурентное преимущество разработки.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества

при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

5.1.3. Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. По своему содержанию данный инструмент близок к методике оценки конкурентных технических решений, описанных в разделе 1.2.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (табл. 2).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки | Вес критерии | Баллы | Максимальный балл | Относительное значение (3/4) | Средневзвешенное значение (5*2) |
|--|--------------|-------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Показатели оценки качества разработки | | | | | |
| 1. Энергоэффективность | 0,1 | 80 | 100 | 0,8 | 0,08 |
| 2. Помехоустойчивость | 0,05 | 80 | 100 | 0,8 | 0,04 |
| 3. Надежность | 0,07 | 90 | 100 | 0,9 | 0,063 |
| 4. Унифицированность | 0,05 | 70 | 100 | 0,7 | 0,035 |
| 5. Уровень материалоемкости разработки | 0,05 | 70 | 100 | 0,7 | 0,035 |
| 6. Уровень шума | 0,03 | 5 | 100 | 0,05 | 0,0015 |
| 7. Безопасность | 0,09 | 100 | 100 | 1 | 0,09 |
| 8. Потребность в ресурсах памяти | 0,05 | 60 | 100 | 0,6 | 0,03 |
| 9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности) | 0,03 | 80 | 100 | 0,8 | 0,024 |
| 10. Простота эксплуатации | 0,05 | 80 | 100 | 0,8 | 0,04 |
| 11. Качество интеллектуального интерфейса | 0,05 | 95 | 100 | 0,95 | 0,0475 |
| 12. Ремонтопригодность | 0,05 | 70 | 100 | 0,7 | 0,035 |
| Показатели оценки коммерческого потенциала разработки | | | | | |
| 13. Конкурентоспособность продукта | 0,15 | 100 | 100 | 1 | 0,15 |
| 14. Уровень проникновения на рынок | 0,1 | 90 | 100 | 0,9 | 0,09 |
| 15. Перспективность рынка | 0,01 | 90 | 100 | 0,9 | 0,009 |
| 16. Цена | 0,02 | 80 | 100 | 0,8 | 0,016 |
| 17. Послепродажное обслуживание | 0,02 | 80 | 100 | 0,8 | 0,016 |
| 18. Финансовая эффективность научной разработки | 0,01 | 90 | 100 | 0,9 | 0,009 |
| 19. Срок выхода на рынок | 0,01 | 80 | 100 | 0,8 | 0,008 |
| 20. Наличие сертификации разработки | 0,01 | 100 | 100 | 1 | 0,01 |
| Итого | 1 | | | | |

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, (2)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

$$P_{cp} = 82,9$$

Значение P_{cp} позволяет говорить о том, что разработка перспективная.

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенным образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов.

5.2. Планирование научно-исследовательских работ.

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.

В данном разделе были составлены перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 3.

Таблица 3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|--------------------------------|-------|--|-------------------------------|
| Создание темы проекта | 1 | Составление и утверждение темы проекта | Научный руководитель |
| | 2 | Анализ актуальности темы | Научный руководитель, студент |
| Выбор направления исследования | 3 | Поиск и изучение материала по теме | Студент |
| | 4 | Выбор направления исследований | Научный руководитель, студент |
| | 5 | Календарное планирование работ | студент |
| Теоретические исследования | 6 | Изучение литературы по теме | Студент |
| | 7 | Составление сравнительной таблицы | |
| Практические исследования | 8 | Проведение экспериментов | Научный руководитель, студент |
| Оценка полученных результатов | 9 | Анализ результатов | Научный руководитель, студент |
| | 10 | Заключение | Научный руководитель, студент |

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3*t_{mini}+2*t_{maxi}}{5}, \quad (29)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (30)$$

где: T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта–горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}, \quad (31)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (32)$$

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

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

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Согласно производственному и налоговому календарю на 2016 год, количество календарных 366 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных и праздничных 119 дней (количество предпраздничных дней – 15, количество выходных дней – 104), таким образом: $K_{\text{кал}} = 1,48$.

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 4.

После заполнения таблицы 4 строим календарный план-график (табл. 5). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 4 – Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы | Трудоемкость работ | | | | | | | | | Исполнители | Длительность работ в рабочих днях | | | Длительность работ в календарных днях | | |
|---|----------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|--------------------|-----------------------------------|-------|-----------|---------------------------------------|-----------|-------|
| | t_{\min} , чел-дни | | | t_{\max} , чел-дни | | | $t_{\text{ож}}i$, чел-дни | | | | T_{pi} | | | T_{ki} | | |
| | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
| Составление и утверждение темы ВКР | 1 | 2 | 3 | 3 | 5 | 6 | 2 | 4 | 5 | Науч. рук. | 2 | 4 | 5 | 3 | 6 | 7 |
| Анализ актуальности темы | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | Студ. и науч. рук. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Постановка задач | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 3 | 4 | 5 | Студент | 3 | 4 | 5 | 4 | 6 | 7 |
| Определение стадий, этапов и сроков написания ВКР | 5 | 5 | 5 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | Студ. и науч. рук. | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| Подбор литературы по тематике работы | 5 | 6 | 5 | 7 | 8 | 7 | 6 | 7 | 6 | Студент | 6 | 7 | 6 | 9 | 10 | 9 |
| Сбор материалов и анализ существующих методов | 15 | 15 | 20 | 20 | 20 | 25 | 17 | 17 | 22 | Студент | 17 | 17 | 22 | 25 | 25 | 33 |
| Выбор оптимального метода | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | Студ. и науч. рук. | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Проведение экспериментов по выбранному методу | 10 | 15 | 10 | 15 | 20 | 15 | 12 | 17 | 12 | Студ. и науч. рук. | 6 | 8 | 6 | 9 | 12 | 9 |
| Оценка и анализ полученных результатов | 5 | 4 | 4 | 7 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | Студ. и науч. рук. | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 |
| Работа над выводами по проекту | 4 | 5 | 4 | 6 | 7 | 6 | 5 | 6 | 5 | Студ. и науч. рук. | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| Итого | | | | | | | | | | | | | 65 | 74 | 79 | |

Таблица 5 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

| № работ | Вид работ | Исполнители | T _{кi} , кал. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|---|---|
| | | | | февр. | | март | | | апрель | | | май | | | | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | Составление и утверждение темы ВКР | Научный руководитель | 7 | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Анализ актуальности темы | Студент и научный руководитель | 1 | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 3 | Постановка задач | Студент | 7 | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 4 | Определение стадий, этапов и сроков написания ВКР | Студент, научный руководитель | 4 | | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 5 | Подбор литературы по тематике работы | Студент | 9 | | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 6 | Сбор материалов и анализ существующих методов | Студент | 33 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| 7 | Выбор оптимального метода | Студент и научный руководитель | 3 | | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| 8 | Проведение экспериментов по выбранному методу | Студент и научный руководитель | 9 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | |
| 9 | Оценка и анализ полученных результатов | Студент и научный руководитель | 3 | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| 10 | Работа над выводами по проекту | Студент, научный руководитель | 3 | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |

■ – студент; ▨ – научный руководитель.

5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (33)$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 6 – Материальный затраты

| Наименование | Единица измерения | Количество | | | Цена за ед., руб. | | | Затраты на материалы, (Z _м), руб. | | |
|-----------------------|-------------------|------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|---|--------|--------|
| | | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 |
| Бумага | лист | 150 | 150 | 150 | 2 | 2 | 2 | 345 | 345 | 345 |
| Картридж для принтера | шт. | 1 | 1 | 1 | 1000 | 1000 | 1000 | 1150 | 1150 | 1150 |
| Интернет | М/бит (пакет) | 1 | 1 | 1 | 350 | 350 | 350 | 402,5 | 402,5 | 402,5 |
| Ручка | шт. | 1 | 1 | 1 | 20 | 20 | 20 | 23 | 23 | 23 |
| USB накопитель | (Гб) | 8 | 8 | 8 | 65 | 65 | 65 | 600 | 600 | 600 |
| Итого | | | | | | | | 2520 | | |

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 7 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

| № п/ п | Наименование оборудования | Кол-во единиц оборудования | | | Цена единицы оборудования, | | | Общая стоимость оборудования, | | |
|--------------|--|-------------------------------|-------|-------|-------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|--------------|--------------|
| | | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
| 3 | Принтер | 1 | 1 | 1 | 12000 | 12000 | 12000 | 12000 | 12000 | 12000 |
| 5 | Ноутбук с программным обеспечением | 1 | 1 | 1 | 4000 0 | 4000 0 | 4000 0 | 40000 | 40000 | 40000 |
| Итого | | | | | | | | 52000 | 52000 | 52000 |

Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 5.

Таблица 8 – Расчет основной заработной платы

| № п/ п | Наименование этапов | Исполнитель и по категориям | Трудо- емкость, чел.- дн. | | | Заработная плата, прихо- дящаяся на | | | Всего зара- ботная плата по тарифу (окладам), руб. | | |
|--------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|--|-------|-------|---|----------------|----------------|
| | | | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
| 1. | Составление и утверждение темы ВКР | Науч. рук. | 2 | 4 | 3 | 1374,7 | | | 2749,4 | 5498,8 | 4124,1 |
| 2. | Анализ актуальности темы | Студ. и науч. рук. | 1 | 1 | 1 | 1786,9 | | | 1786,9 | 1786,9 | 1786,9 |
| 3. | Постановка задач | Студент | 2 | 3 | 4 | 412,2 | | | 824,4 | 1236,6 | 1648,8 |
| 4. | Определение стадий, этапов и сроков написания ВКР | Студ. и науч. рук. | 3 | 2 | 3 | 1786,9 | | | 5360,7 | 3573,8 | 5360,7 |
| 5. | Подбор литературы по тематике работы | Студент | 5 | 7 | 7 | 412,2 | | | 2061 | 2885,4 | 2885,4 |
| 6. | Сбор материалов и анализ | Студент | 8 | 15 | 20 | 412,2 | | | 3297,6 | 6183 | 8244 |
| 7. | Выбор оптимального метода | Студ. и науч. рук. | 4 | 8 | 8 | 1786,9 | | | 7147,6 | 14295,2 | 14295,2 |
| 8. | Проведение экспериментов по выбранному методу | Студ. и науч. рук. | 6 | 6 | 6 | 1786,9 | | | 10721,4 | 10721,4 | 10721,4 |
| 9. | Оценка и анализ полученных результатов | Студ. и науч. рук. | 4 | 2 | 3 | 1786,9 | | | 7147,6 | 3573,8 | 5360,7 |
| 10. | Анализ результатов, заключение | Студ. и науч. рук. | 5 | 2 | 3 | 1786,9 | | | 8934,5 | 3573,8 | 5360,7 |
| 11. | Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации, графического материала) | Студент | 9 | 9 | 9 | 412,2 | | | 3709,8 | 3709,8 | 3709,8 |
| Итого | | | 49 | 59 | 67 | 13744,9 | | | 53740,8 | 57038,5 | 63497,7 |

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент.

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (34)$$

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

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

Максимальная основная заработная плата руководителя (ассистента, преподавателя) равна примерно 23264.86 рублей, а студента 6976.22 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} \quad (35)$$

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

Таблица 9 – Расчет дополнительной заработной платы

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб. | | | Коэффициент дополнительно заработной платы | Дополнительная заработная плата, руб. | | |
|--------------|---------------------------------|---------|---------|--|---------------------------------------|---------------|---------------|
| | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 | | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 |
| Руководитель | 22864,4 | 23486,4 | 25863,5 | 0,12 | 2743,7 | 2818,4 | 3103,6 |
| Студент | 32663,4 | 33552 | 36947,9 | | 3919,6 | 4026,2 | 4433,7 |
| Итого | | | | | 6663,3 | 6844,6 | 7537,3 |

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (36)$$

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 10 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб | | | Дополнительная заработная плата, руб | | |
|--|--------------------------------|---------|---------|--------------------------------------|--------|--------|
| | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
| Руководитель | 22864,4 | 23486,4 | 25863,5 | 2743,7 | 2818,4 | 3103,6 |
| Студент-дипломник | 32663,4 | 33552 | 36947,9 | 3919,6 | 4026,2 | 4433,7 |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные | 0,271 | | | | | |
| Итого | | | | | | |
| Исполнение 1 | 62191,1 руб. | | | | | |
| Исполнение 2 | 63883,1 руб. | | | | | |
| Исполнение 3 | 70348,7 руб. | | | | | |

Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\sum статеи) \cdot k_{нр}, \quad (37)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.2.4.1. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. | | | Примечание |
|---|-------------|----------|----------|-----------------------|
| | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | |
| Материальные затраты НТИ | 3000,5 | 3000,5 | 3000,5 | Пункт 3.4.1 |
| Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | 534,05 | 534,05 | 534,05 | Пункт 3.4.2 |
| Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 53740,8 | 57038,5 | 63497,7 | Пункт 3.4.3 |
| Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 6663,3 | 6844,6 | 7537,3 | Пункт 3.4.4 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 62191,1 | 63883,1 | 70348,7 | Пункт 3.4.5 |
| Накладные расходы | 20356,9 | 131911,9 | 143499,9 | 16 % от суммы ст. 1-5 |
| Бюджет затрат НТИ | 146486,6 | 263212,6 | 288418,1 | Сумма ст. 1- 6 |

Исходя из данных, приведенных в таблице 10, наиболее бюджетным вариантом является исполнение 1. Самым затратным является исполнение 3.

5.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (38)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно – исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{147587,6}{286999,9} = 0,51; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{263823,9}{286999,9} = 0,92;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{286999,9}{286999,9} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (39)$$

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

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 12).

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Объект исследования Критерии | Весовой коэффициент параметра | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|---|-------------------------------|------------|-------------|-------------|
| 1. Способствует росту производительности труда пользователя | 0,1 | 5 | 3 | 3 |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,15 | 4 | 2 | 4 |
| 3. Ремонтопригодность | 0,15 | 5 | 3 | 3 |
| 4. Энергосбережение | 0,20 | 4 | 5 | 5 |
| 5. Надежность | 0,15 | 4 | 4 | 2 |
| 6. Пусковой период | 0,1 | 5 | 3 | 3 |
| 7. Материалоемкость | 0,15 | 5 | 4 | 4 |
| Итого | 1 | 4,5 | 3,55 | 3,55 |

$$I_{p-ucn1} = 5*0,1+4*0,15+5*0,15+4*0,2+4*0,15+5*0,1+5*0,15=4,5$$

$$I_{p-ucn1} = 3*0,1+2*0,15+3*0,15+5*0,2+4*0,15+3*0,1+4*0,15=3,55$$

$$I_{p-ucn1} = 3*0,1+4*0,15+3*0,15+5*0,2+2*0,15+3*0,1+4*0,15=3,55$$

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

$$I_{ucn.i} = \frac{I_{p-ucn.i}}{I_{финр}}$$

$$I_{ucn.1}^1 = \frac{4,5}{0,51} = 8,82 ; \quad I_{ucn.1}^2 = \frac{3,55}{0,92} = 3,85 ; \quad I_{ucn.1}^3 = \frac{3,55}{1} = 3,55. \quad (40)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта

(см.табл.14) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (Θ_{cp}):

$$\Theta_{cp} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} \quad (41)$$

Таблица 13 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|-------|---|-------|-------|-------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 0,51 | 0,92 | 1 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,5 | 3,55 | 3,55 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 8,82 | 3,85 | 3,55 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 2,3 | 0,43 | 0,40 |

Вывод

В результате проделанной работы, определена трудоемкость выполнения работ и разработан график проведения научного исследования.

Посчитана заработная плата научного руководителя и студента.

Был сформирован бюджет затрат проекта. Наиболее бюджетным оказалось исполнение 1, а наиболее затратным исполнение 3. По окончании выполнения данного раздела была определена эффективность исследования.

Реализация технологии в первом исполнении, является наиболее эффективным вариантом, для решения задачи, поставленной в данной работе.

6. Профессиональная социальная ответственность

6.1. Анализ вредных и опасных факторов

Проведем анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при постановке практических экспериментов, в учебной аудитории 4 корпуса, Отделения электронной инженерии Томского политехнического университета.

Таблица 14 – Опасные и вредные факторы при постановке практического эксперимента

| Источник фактора, наименование видов работ | Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74) | | Нормативные документы |
|--|--|-------------------|--|
| | Вредные | Опасны | |
| Проведение экспериментов в диагностики ЭКГ | Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны Недостаточная освещенность рабочей зоны Повышенный уровень электромагнитных излучений | Электрический ток | Проведение электромеханических испытаний |

Далее более подробно изучим выявленные вредные и опасные факторы и обоснуем мероприятия по защите персонала предприятия от действия этих факторов.

Анализ условий труда в лаборатории является одной из основных задач организации рабочего места. Организация рабочего места заключается в выполнении ряда мероприятий, обеспечивающих рациональный и безопасный трудовой процесс, и эффективное использование орудий и предметов труда, что повышает производительность и способствует снижению утомляемости работающих.

Удобное и рациональное расположение органов управления позволяет исключить лишние движения. Рабочие места операторов выполняем также с учетом требований технической эстетики:

- планировка рабочего места избавляет работающих от лишних и утомительных трудовых движений, и обеспечивает удобную рабочую позу;
- рабочее место обеспечено инструментами и приспособлениями, необходимыми для работы, а также для личной безопасности; вблизи рабочего места установлены ящики или шкафы для хранения инструмента и личных вещей;
- рабочее место в соответствии с санитарными нормами освещено и провентилировано, постоянно содержится в чистоте; не захламлено, нет хаотичного хранения инструмента и материалов.

6.1.1. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Нормы учитывают:

- время года – холодный и переходный (+10 °С и ниже), теплый (+10 °С и выше) периоды;
- категорию работ – легкая, средней тяжести и тяжелая;
- характеристику помещения по тепловому облучению.

Отклонения микроклимата от нормы, могут вызвать:

- повреждения или нарушения состояния здоровья;
- общие и локальные ощущения теплового дискомфорта;
- напряжение механизмов терморегуляции;
- ухудшению самочувствия и понижению работоспособности

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88 [7]. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 15 для категории Ia, к ней относятся работы с интенсивностью энерго-затрат до 139 ккал/ч.

Таблица 15 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (по ГОСТ 12.1.005–88)

| Период Года | Температура, °С | | | | | Относительная влажность, % | | Скорость движения воздуха, м/с | |
|----------------|-----------------|---------------------------------|----------|--------|----------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------|
| | Оптимальная | Допустимая на рабочих местах | | | | Оптимальная | Допустимая не более | Оптимальная, не более | Допустимая, не более |
| | | Верхняя | | Нижняя | | | | | |
| | | Пост. | Не пост. | Пост. | Не пост. | | | | |
| Холодный | 22-24 | 25 | 26 | 21 | 18 | 40-60 | 75 | 0,1 | 0,1 |
| Теплый | 23-25 | 28 | 30 | 22 | 20 | 40-60 | 55 | 0,1 | 0,1 |
| | | | | | | | | | |

6.1.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны

В лаборатории производятся работы средней точности IV (минимальная величина различия составляет от 0.5 до 1 мм).

Согласно СП 52.13330.2011 необходимо создать искусственное освещение при системе общего освещения не ниже 200 лк, при системе комбинированного освещения не ниже 400 лк в соответствии с разрядом зрительной работы [8].

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Необходимо предусмотреть на окнах солнцезащитные устройства, например, жалюзи, предотвращающие проникновение прямых солнечных лучей, которые создают на рабочих местах резкие тени.

В качестве источников света для освещения помещения используются люминесцентные лампы, которые обладают большим сроком службы и высокой световой отдачей. Выбираем светильники типа ОДОР-2-40 с люминесцентными лампами типа ЛД-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

6.1.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений

Длительное воздействие электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) приводит к расстройствам в головном мозге и центральной нервной системе. В электрическом поле (ЭП) атомы и молекулы поляризуются. Полярные молекулы ориентируются по направлению распространения электромагнитного поля, что изменяет ориентацию клеток или цепей молекул, ослабляя биохимическую активность белковых молекул. В результате у человека наблюдаются головная боль в височной и затылочной областях, вялость, ухудшение памяти, боли в области сердца, угнетенное настроение, апатия, своеобразная депрессия с повышенной

чувствительностью к яркому свету и интенсивному звуку, расстройство сна, сердечно-сосудистой системы (ССС), органов пищеварения, дыхания, повышенная раздражительность. Могут наблюдаться функциональные нарушения в ЦНС, а также изменения в составе крови.

Воздействие постоянного магнитного поля (ПМП) и с частотой 50 Гц на человека проявляется в индуцировании в теле человека вихревых токов.

При длительном систематическом воздействии могут возникнуть изменения функционального состояния нервной системы, иммунной системы и сердечно-сосудистой системы. Длительное воздействие ЭМП промышленной частоты может спровоцировать онкологические заболевания.

Обязательным требованием к помещениям, где размещены рабочие места с персональными компьютерами, является оборудование помещений защитным заземлением. В этих помещениях следует проводить ежедневную влажную уборку и после каждого часа работы на ЭВМ необходимо проводить систематическое проветривание помещения.

Для обеспечения наиболее оптимальной работоспособности, а также сохранения здоровья пользователя, в течение рабочей смены должны быть установлены регламентированные перерывы.

При работе с компьютером допустимые уровни электромагнитных полей указаны в таблице. Они нормируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. [5]

Таблица 16 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

| Наименование параметров | | ВДУ |
|--|------------------------------------|---------|
| Напряженность электрического поля | в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц | 25 В/м |
| | в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц | 2,5 В/м |
| Плотность магнитного потока | в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц | 250 нТл |
| | в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц | 25 нТл |
| Напряженность электростатического поля | | 15 кВ/м |

Длительность рабочей смены не превышает 8 ч (480 мин);
установление 2 регламентированных перерывов, учитываемых при
установлении нормы выработки: длительностью 20 мин через 1- 2 ч после
начала смены, длительностью 30 мин примерно через 2 ч после обеденного
перерыва; обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин примерно в
середине смены. Регламентированные перерывы должны использоваться для
активного отдыха и лечебно-профилактических мероприятий и процедур. Так
же имеется комната психологической разгрузки

6.1.4. Электрический ток

В процессе использования электроприборов и электрооборудования
может возникнуть опасность поражения электрическим током.

Чтобы исключить опасность поражения необходимо соблюдать
следующие правила электробезопасности:

- перед включением прибора в сеть должна быть визуально
проверена его электропроводка на отсутствие возможных видимых
нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих
частей на корпус;
- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно
отключить от электрической сети устройство и устранить неисправность;
- запрещается при включенном устройстве одновременно
прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление (например,
радиаторы отопления, водопроводные краны и др.)
- запрещается эксплуатация оборудования в помещениях с
повышенной опасностью;
- запрещается включать и выключать устройство при помощи
штепсельной вилки. Штепсельную вилку включать и выключать из розетки
можно только при выключенном устройстве [9].

В соответствии с ГОСТ 12.1.002–84 [6] нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоне. Работа в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20–25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м присутствие людей в рабочей зоне разрешается в течение 8 часов.

Существуют следующие способы защиты от поражения током в электроустановках:

- предохранительные устройства;
- защитное заземление;
- применение устройств защитного отключения (УЗО);
- зануление.

Самый распространенный способ защиты от поражения током при эксплуатации измерительных приборов и устройств - защитное заземление, которое предназначено для превращения «замыкания электричества на корпус» в «замыкание тока на землю» для уменьшения напряжения прикосновения и напряжения шага до безопасных величин (выравнивание потенциала) [5].

6.2. Экологическая безопасность

Для рассмотрения характера воздействия проводимого эксперимента на окружающую среду, проведем анализ его «жизненного цикла», который состоит из стадий использования и утилизации.

В результате постановки экспериментов, выбросов вредных веществ в атмосферу не происходит. Бумажные отходы должны передаваться в соответствующие организации для дальнейшей переработки. Неисправные комплектующие персональных компьютеров и картриджи должны

передаваться либо государственным организациям, осуществляющим вывоз и уничтожение бытовых и производственных отходов, либо организациям, занимающимся переработкой отходов.

Для утилизации прибора необходимо сдать его в перерабатывающую компанию. Первичные преобразователи подходят для вторичной переработки. Самым опасным загрязнителем окружающей среды в устройстве является аккумулятор, который необходимо сдать в специальную утилизирующую организацию.

6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, диверсии и пожары.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае заморозки труб отопления, должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их мощности должно хватать для того, чтобы работа не прекратилась. Масляные обогреватели нагреваются до температуры 110-150 градусов, поэтому довольно быстро способны отопить помещение. Некоторые модели масляных радиаторов наделены вентилятором, с помощью которого теплый воздух быстрее распространяется по всему помещению. Масляный обогреватель с термостатом, можно вообще не выключать. Обогреватель будет самостоятельно отключаться, когда температура поднимется до заданной. То есть на время отсутствия сотрудников можно выставить на термостате температуру около 15 градусов,

тогда температура в рабочей зоне будет соответствовать установленным нормам. Главное, учитывать, что суммарная мощность обогревателей была меньше электрической мощности источника их питания. А также желательно наличие дополнительного автоматического выключателя в распределительном щите для защиты от перегрузок.

Еще одним вероятным чрезвычайным происшествием является пожар. Пожар – это неконтролируемое горение вне специально отведенного очага, приносящее материальный ущерб. В соответствии с положениями ГОСТ 12.1.033-81 [3], термин пожарная безопасность обозначает такое состояние объекта, при котором с определенной вероятностью исключается вероятность возникновения и развития неконтролируемого пламени и воздействия на людей опасных критериев пожара, и обеспечение сохранности материальных ценностей.

Пожарная безопасность объектов народного хозяйства, в том числе электрических установок, регламентируется ГОСТ 12.1.004-91 [10], а также строительными нормами и правилами, межотраслевыми типовыми правилами пожарной безопасности на отдельных объектах.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Возникновение пожара в кабинете может быть обусловлено следующими факторами: в современных ПК очень высокая плотность размещения электронных схем. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество тепла, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 100 °С. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение, как следствие - короткое замыкание, сопровождаемое искрением.

Следовательно, для целей обеспечения пожарной безопасности эксплуатация ПК связана с необходимостью проведения обслуживающих, ремонтных и профилактических работ. При этом используются различные смазочные материалы, легковоспламеняющиеся жидкости, прокладывают временные электропроводки, ведут пайку и чистку отдельных узлов и деталей. Также всегда есть вероятность дополнительной пожарной опасности, которая требует соответствующих мер пожарной профилактики.

Пожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара. Успех борьбы с пожаром во многом зависит от его своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по его ограничению и ликвидации.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожароопасности, анализируемое в данной работе помещение относится в категории В.

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

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещений предприятия;
- издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности

Для тушения пожаров используются воздушно-механическая пена, углекислый газ, а также галогидрированные углеводороды. Так как основная опасность – неисправность электропроводки, то при пожаре необходимо немедленно обесточить электросеть в помещении. Главный рубильник должен

находиться в легкодоступном месте. До момента выключения рубильника, очаг пожара можно тушить сухим песком или углекислотными огнетушителями. Одновременно с этим необходимо сбить пламя, охватившее горючие предметы, расположенные вблизи проводников.

Водой и химическими пенными огнетушителями горящую электропроводку следует тушить только тогда, когда она будет обесточена.

При возникновении пожара обязанности по его устранению должны быть четко распределены между работниками лаборатории.

6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства

В Российской Федерации вопросы, относящиеся к организации и охране труда при работе за компьютером, регулируются типовой инструкцией по охране труда при работе на персональном компьютере [11]. При работе инженера-конструктора с персональным компьютером очень важную роль играет соблюдение правильного режима труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках.

Согласно типовой инструкции по охране труда при работе на персональном компьютере определяются следующие требования:

1. К работе на персональном компьютере допускаются лица, прошедшие обучение безопасным методам труда, вводный инструктаж, первичный инструктаж на рабочем месте.

2. Работник обязан:

- выполнять только ту работу, которая определена его должностной инструкцией.
- содержать в чистоте рабочее место.

- соблюдать меры пожарной безопасности.
- соблюдать режим труда и отдыха в зависимости от продолжительности, вида и категории трудовой деятельности.

Длительность рабочей смены не более 8 ч (480 мин); установление 2 регламентированных перерывов, учитываемых при установлении нормы выработки: длительностью 20 мин через 1 – 2 ч после начала смены, длительностью 30 мин примерно через 2 ч после обеденного перерыва; обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин примерно в середине смены. Регламентированные перерывы должны использоваться для активного отдыха и лечебно-профилактических мероприятий и процедур. [11]

При 12 часовой рабочей смене регламентированные перерывы должны устанавливаться в первые 8 часов работы аналогично перерывам при 8-часовой рабочей смене, а в течение последних 4 часов работы, независимо от категории и вида работ, каждый час продолжительностью 15 минут. [11]

Таблица 17 – Время регламентированных перерывов при работе на компьютере

| Категория работы | Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с компьютером | | | Суммарное время регламентированных перерывов, мин | |
|------------------|---|-----------------------------|-----------------|---|----------------------|
| | Группа А, количество знаков | Группа Б, количество знаков | Группа В, часов | При 8-часовой смене | При 12-часовой смене |
| I | до 20 000 | до 15 000 | до 2,0 | 30 | 70 |
| II | до 40 000 | до 30 000 | до 4,0 | 50 | 90 |
| III | до 60 000 | до 40 000 | до 6,0 | 70 | 120 |

3. Женщины со времени установления беременности и в период кормления грудью к выполнению всех видов работ, связанных с использованием компьютеров, не допускаются.

6.5. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место является первичным звеном производства, оно представляет собой определенный участок производственной площади цеха, предназначенный для выполнения одним рабочим порученной работы, специально приспособленный и технически оснащенный в соответствии с характером этой работы. От того, насколько правильно и рационально будет организовано рабочее место, зависит безопасность и производительность труда. Как правило, каждое рабочее место оснащено основным и вспомогательным оборудованием и соответствующим инструментом. Отсутствие на рабочем месте удобного вспомогательного или нерациональное расположение, захламленность создают условия для возникновения травматизма.

Рабочее место инженера-конструктора должно отвечать требованиям к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ для взрослых пользователей [5].

1. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680 - 800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

2. Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

3. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

4. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ± 30 градусов;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260 - 400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50 - 70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

5. Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 град. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

6. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 - 300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы. [5]

Создание благоприятных условий труда и правильное оформление рабочих мест, имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

Список литературы

1. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
3. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.
4. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
5. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
6. ГОСТ 12.1.002-84. Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
7. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергия, 1981. – 590 с.
8. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
9. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
10. ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху.
11. ТОИ Р-45-084-01. Типовой инструкцией по охране труда при работе на персональном компьютере.

Заключение

Список используемых источников.

1. Самодуров И. Н. Ленточный моментный двигатель : дипломный проект / И. Н. Самодуров ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт неразрушающего контроля (ИНК), Кафедра точного приборостроения (ТПС) ; науч. рук. В. М. Мартемьянов. — Томск, 2016.
2. Бесконтактные моментные электродвигатели ДБМ. Справочник. – М. : ИП "Чертановская типография" Мосгорпечать, 1992.
3. Столов, Л. И. Авиационные моментные двигатели / Л. И. Столов [и д.р.] – М. : Машиностроение, 1979.–136 с.
4. Столов, Л. И. Моментные двигатели постоянного тока / Л. И. Столов, А. Ю. Афанасьев. – М. : Энергоатомиздат, 1989.–224 с.
5. Моментный двигатель: патент Рос. Федерации № 2441310 МПК H02K/26.00. / В.М. Мартемьянов, А.Г. Иванова; заявлено 20.08.2010; опубл. 27.01.2012, бюл. №3. – 6 с.: ил.
6. Долгих А. Г. Электромеханический преобразователь с ленточной обмоткой якоря : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 05.09.01 / А. Г. Долгих ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; науч. рук. В. Н. Бориков. — Томск, 2017.
7. Долгих, А. Г. Зависимость потребляемой мощности моментного двигателя с ленточной намоткой от числа пар полюсов магнитной системы [Электронный ресурс] = Tape winding torque motor power consumption dependence from the magnetic system poles pairs / А. Г. Долгих, И. Н. Самодуров; науч. рук. В. М. Мартемьянов // Инженерия для освоения космоса : сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного форума с международным участием, г. Томск, 12-14 апреля 2016 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. —

- [С. 34-37]. — Заглавие с экрана. — Свободный доступ из сети Интернет.
Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/23251>
8. Самодуров, Иван Николаевич. Определение геометрических параметров элемента ленточной намотки [Электронный ресурс] / И. Н. Самодуров, А. Г. Иванова, В. М. Мартемьянов // Наука. Технологии. Инновации: сборник трудов X Всероссийской научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 5-9 Декабря 2016, Новосибирск 9 ч. / Новосибирский государственный технический университет (НГТУ) ; под ред. С. В. Макарова. — 2016. — Ч. 5. — [С. 79-80]. — Заглавие с экрана. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27627625>
9. Иванова, Антонина Геннадьевна. Магнитное поле прямоугольного проводника с током [Электронный ресурс] = Magnetic field of rectangular conductor with current / А. Г. Иванова, И. Н. Самодуров, В. М. Мартемьянов // Международный студенческий научный вестник. — 2015. — № 6. — [5 с.]. — Заглавие с экрана. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25279220>
10. Самодуров И. Н. Оценка взаимного влияния полей возбуждения и токов ленточной намотки моментного двигателя / И. Н. Самодуров, А. Г. Долгих ; науч. рук. В. М. Мартемьянов // Неразрушающий контроль : сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г. : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 2. — [5 с.].
11. Самодуров, Иван Николаевич. Определение геометрических параметров элемента ленточной намотки [Электронный ресурс] / И. Н. Самодуров, А. Г. Иванова, В. М. Мартемьянов // Наука. Технологии. Инновации : сборник трудов X Всероссийской научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 5-9 Декабря 2016, Новосибирск 9 ч. /

Новосибирский государственный технический университет (НГТУ) ;
под ред. С. В. Макарова. — 2016. — Ч. 5. — [С. 79-80]. — Заглавие с
экрана. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27627625>

Приложение А

Раздел на иностранном языке

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1БМ6В | Самодуров Иван Николаевич | | |

Консультант школы отделения (НОЦ) _____ (аббревиатура школы, отделения (НОЦ)) _____ :

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
| | | | | |

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы _____ (аббревиатура отделения (НОЦ) школы) _____ :

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
| | | | | |

1. ANALYTICAL STUDIES OF TORQUE MOTOR TAPE ACTIVE ELEMENT

Recently scientists paid attention to the development of the brushless torque motors novel types. In the active element of this motor the conventional winding is replaced by a tape winding. The tape winding signifies a spirally wound tape on a tubular base. The tubular base is a part of the motor case. The tape is made of electroconductive material and coated with a layer of insulation material. At both side edges of the tape there are narrow transverse cuts. The distance between cuts centers is equal to the pole division of the rotor magnetic system. If the ends of the wound tape connect to the DC source, the character of current flowing is determined by the transverse cuts. In the figure 1 it is revealed that the current J has two components: the longitudinal one J_l directed along the tape and the transversal one J_t directed across the tape towards coinciding with the rotation axis of the torque motor rotor. The poles of the rotor magnet are shown by rectangles N and S. The interaction of current transversal components J_t with the magnetic field causes forces F , acting on the magnet. The total action of these forces causes the torque that tends to turn the magnetic system relative of the stationary tape winding. The longitudinal current components J_l cause the forces P , acting from the side of magnet to the rotor suspension supports.

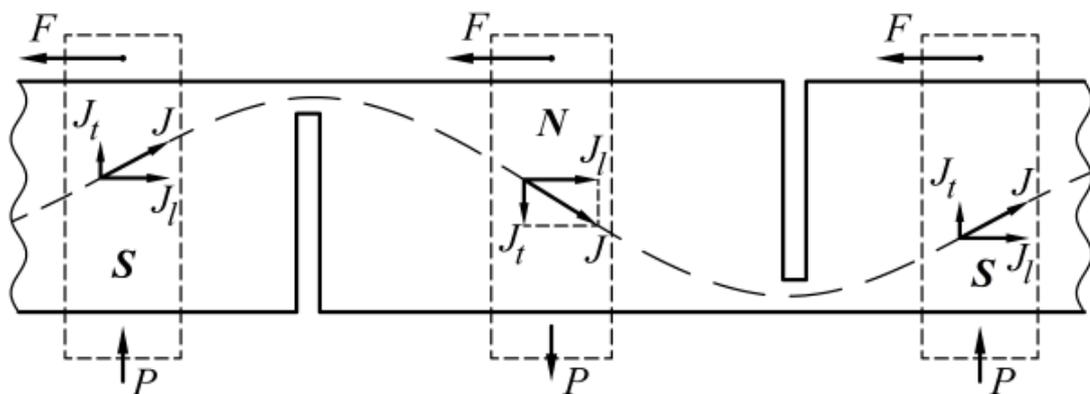


Figure 1. The active tape element fragment.

The benefits of the proposed active element include:

- Novel design and technological approach to the engine stator manufacture
- Linear load due to the high current flowing through the tape winding and a heat removal to the motor case
- Possibility of formation the required functional dependence of the motor's torque over the angular movement characteristic

It is known that the diagonal character of the current flowing is also implemented in the windings of the coreless motors. Such windings are known as honeycomb, winding with skew-wound coils, zig-zag windings, Faulhaber winding [3-5].

The coils of the honeycomb winding are placed close or alternate to each other at an angle to the rotor element of cylinder. From point of design, the proposed variant of the active element is close to the approach implemented in the honeycomb winding. The main benefits of honeycomb windings include [5]:

- No cogging torque resulting in smooth positioning and speed control and higher overall efficiency than other DC motor types
- Extremely high torque and power in relation to motor size and weight
- Absolute linear relationship between load to speed, current to torque, and voltage to speed
- Very low rotor inertia which results in superior dynamic characteristics for starting and stopping
- Extremely low torque ripple and EMI

Torque motor with the tape active element has the dependence of motor's torque over the angular movement shown in the figure 2, curve 1.

This dependence is obtained by calculation method with using a numerical simulation of the current distribution through the tape winding in COMSOL Multiphysics. COMSOL Multiphysics software is a universal computer aid engineering software based on finite element analysis, which has a large set of functions for analyses and solution. For calculation of the dependence, the tape winding consists of 100 coils with 4 plates in each coil. Plate's length is 100 mm, plate's width is 50 mm and plate's thickness is 0,1 mm. Current is 50 A, flux density in the air gap is 0,5 T. Curve 2 in the figure 2 represents the dependence of the motor's torque over the limited angular movement with the additional side cuts in the tape.

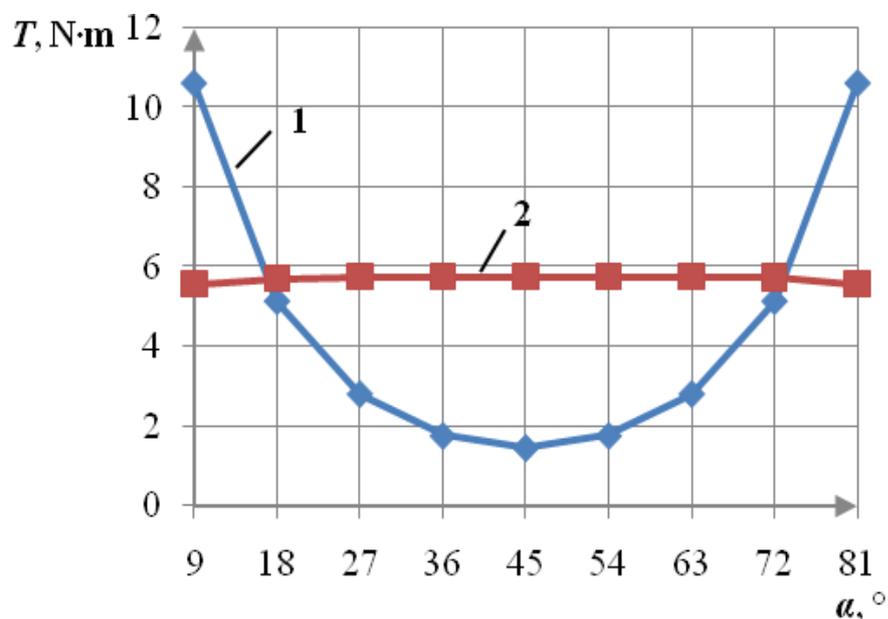


Figure 2. Calculation result of the motor's torque over angular movement.

As shown in the figure 1, the distributed direct current J flows through the side electrodes of the single plate in the diagonal direction. Motor's magnetic system provides the uniform magnetic field with the constant flux density for some area of plate. The magnet center situated at some fixed point x_0 relative to the plate. Taking into consideration that the transverse current density component j_y has the same value for the points with the same coordinates (x_i, y_i) , situated in all plate layers. The plate

thickness Δ is constant. Suppose that the plate temperature, the applied voltage and the conductivity of the plate material are constant in time.

In [6] it is shown that force generated by the interaction between the current-carrying plate and the permanent flux density has the following form

$$F_x = B \cdot \Delta \cdot \int_{(x-c/2)^0}^{(x+c/2)^b} \int j_y(x, y) \cdot dx \cdot dy, \quad (1)$$

where B is a flux density in the air gap,

c is a magnet width,

b is a plate width.

The double integral in (1) represents the sum of the transverse current density components, flowing through the plate. Introduce the notation:

$$D(x, y) = \int_{(x-c/2)^0}^{(x+c/2)^b} \int j_y(x, y) \cdot dx \cdot dy. \quad (2)$$

If the value of $D(x, y)$ with some initial current $J = J_0$ is known, the double integral is denoted as $D(x, y, J_0)$. With current $J \neq J_0$ we have

$$D(x, y, J) = \frac{J}{J_0} D(x, y, J_0). \quad (3)$$

In this case, (1) can be written in the form

$$F_x = \frac{B \cdot \Delta}{J_0} \cdot J \cdot D(x, y, J_0). \quad (4)$$

The motor's torque is determined by the combined action of the tape winding single plates.

2. The active element geometry influence to the motor's torque

Consider that the tape active element single plate geometry influence on the motor's torque. Firstly assess the force behavior over the changing of the voltage application

electrode relative width $\sigma = \frac{b_e}{b}$, where b_e is the electrode width (figure 3).

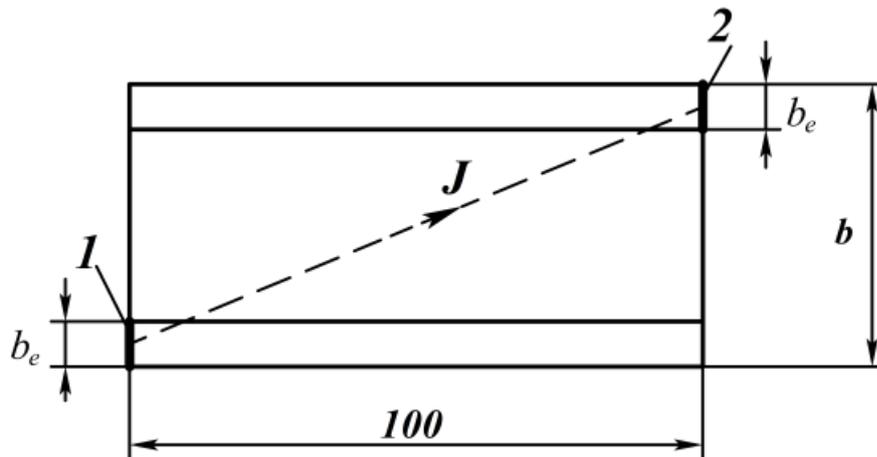


Figure 3. The single plate of the tape active element.

The operating current value J at a constant voltage U , applied to the plate between the electrodes 1 and 2 depends on the relative electrode width σ . This occurs because the changing of the electrode cross-section area causes the change of the plate resistance and operating current.

The numerical experiment under specific values of σ, c, x_0, J_0 was carried out. In the figure 4 the graph $J(\sigma)$ is represented. There is σ varies from 0,1 to 0,5 with the constant voltage, in particular $U = 0,01V$.

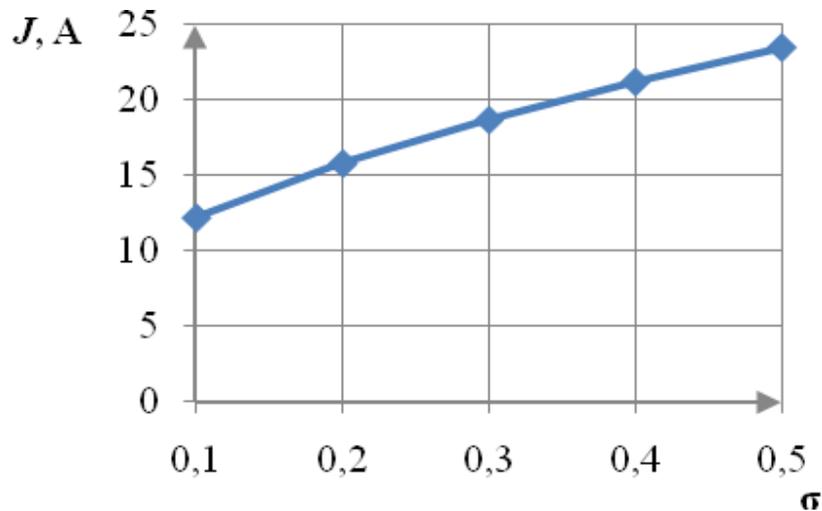


Figure 4. The graph of operating current over the relative electrode width with the constant voltage.

Note that the value $D(x, y, J_0)$ depends on the current streamlines steepness. The figure 5 shows that increasing of σ decreases the steepness.

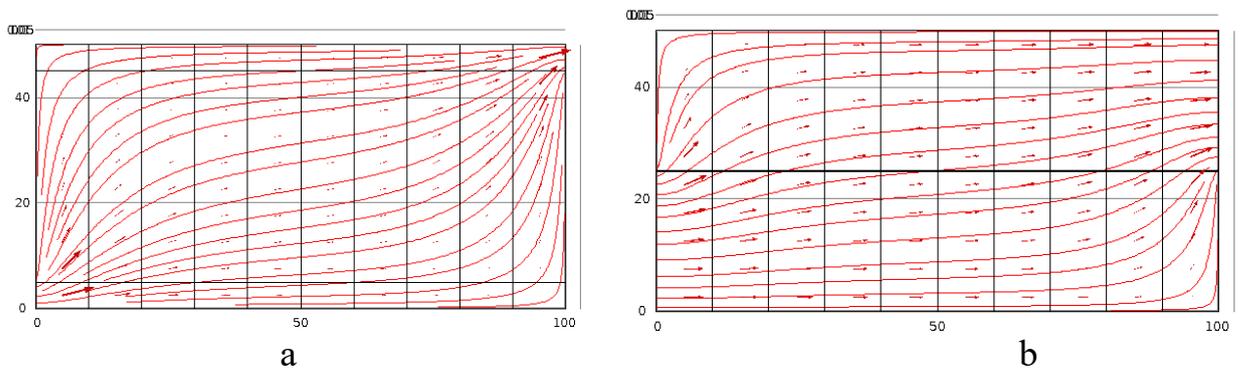


Figure 5. Current streamlines: a when $\sigma = 0,1$; b when $\sigma = 0,5$.

Define the value of $D(x, y, J_0, \sigma)$ with σ from 0,1 to 0,5 (figure 6). For providing the constant current J_0 , flowing through the plate, in particular 1 A, the applied voltage should be changed each time. The curve 1 shows the magnet location at the edge of the plate, curve 2 - at the center of the plate.

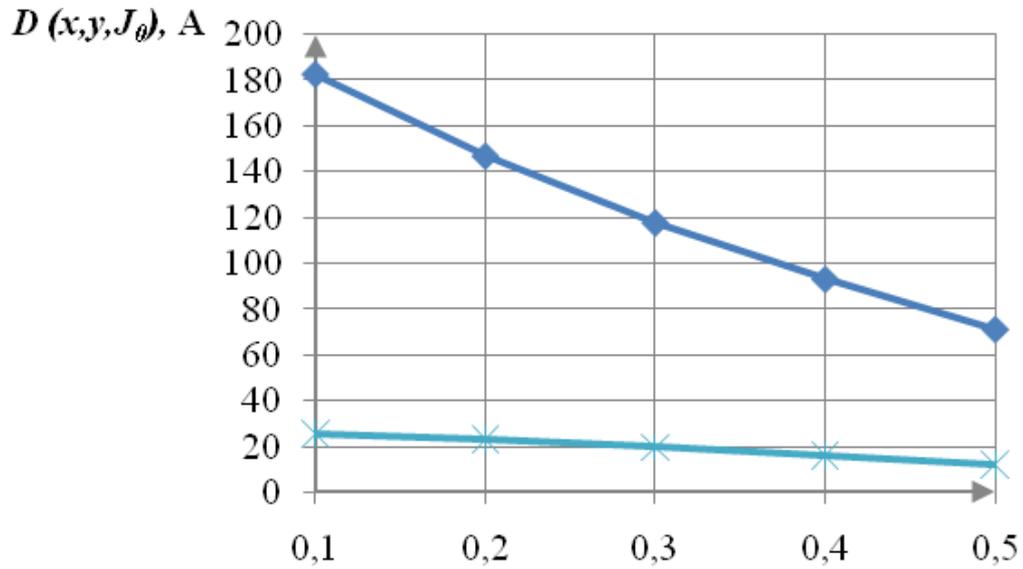


Figure 6. The double integral over the relative electrode width with the constant current J_0 .

Thus the increasing of the σ causes the increase in the current J (figure 4) and the decrease of the $D(x, y, J_0)$. Consequently the simultaneous action of two opposite trends, affecting on the force value is observed. According that, (4) can be written as

$$F_x(x_0) = \frac{B \cdot \Delta}{J_0} \cdot J(\sigma) \cdot D(x, y, J_0, \sigma). \quad (5)$$

The resulting force is the product of the above functions and has the form shown in figure 7. Due to the fact that the both functions have a non-linear character, the expression for the force has an extremum at a certain value of the relative electrode width.

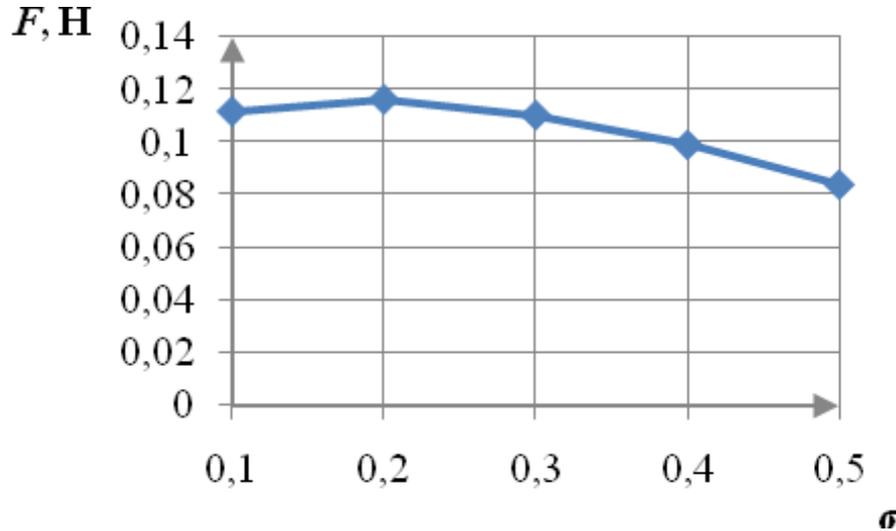


Figure 7. The resulting force over the relative electrode width.

2.1 The motor's torque over the number of tape winding coils

Consider how the motor's torque depends on the number of tape winding coils N . In this case, (4) takes the form

$$F = B(\delta) \cdot \frac{\Delta}{J_0} \cdot \frac{U}{R \cdot N \cdot 2p} \cdot D(x, y, J_0)_{x_c}, \quad (6)$$

where $B(\delta)$ is a flux density in the air gap; $\frac{U}{R \cdot N \cdot 2p}$ is the tape winding operating current; $U = const$ – the voltage, applied to the tape; R is the resistance of the single plate; $2p$ is the number of plates in one coil; $D(x, y, J_0)_{x_0}$ is the double integral defined with the current J_0 , and with the magnet center in the point x_0 .

The force, created by the pack from N one pole plates has the form

$$F_N = B(\delta) \cdot \frac{\Delta}{J_0} \cdot \frac{U}{R \cdot N \cdot 2p} \cdot N \cdot D(x, y, J_0)_{x_0}. \quad (7)$$

The force, created by the all $2p$ poles

$$F_{N2p} = B(\delta) \cdot \frac{\Delta}{J_0} \cdot \frac{U}{R \cdot N \cdot 2p} \cdot N \cdot 2p \cdot D(x, y, J_0)_{x_0} = B(\delta) \cdot \frac{\Delta}{J_0} \cdot \frac{U}{R} \cdot D(x, y, J_0)_{x_0}. \quad (8)$$

Then the motor's torque can be defined by the following way

$$M = F_{N2p} \cdot r_{cp} = B(\delta) \cdot \left[\frac{r_{av} \cdot \Delta}{J_0} \cdot \frac{U}{R} \cdot D(x, y, J_0)_{x_0} \right], \quad (9)$$

where r_{av} is the average radius of the tape winding.

From (9) follows that the torque value relies only on flux density, and consequently from the value of the air gap. Moreover, the larger number of coils will increase the air gap and decrease accordingly the flux density. Therefore, the number of coils must be minimal and defines by a permitted current. The permitted current J_{per} must not damage the power supply and the tape winding

$$\frac{U}{R \cdot N \cdot 2p} \leq J_{per}, \quad N \geq \frac{U}{2p \cdot R \cdot J_{per}}. \quad (10)$$

Provided that the magnetizing force of the permanent magnets is constant, we have

$$B(\delta) = a \cdot \delta^2 + b \cdot \delta + c = a \cdot \left(\delta^2 + \frac{b}{a} \cdot \delta + \frac{c}{a} \right). \quad (11)$$

Assume the air gap value in the form of

$$\delta = N \cdot \Delta + \Delta_m, \quad (12)$$

where Δ_m is the mechanical gap, including the thickness of the tubular base.

Substituting (11) and (12) into (9), we obtain

$$M = k \cdot \Delta^2 \cdot \left[N^2 + B \cdot N + C \right], \quad (13)$$

$$\text{where } k = a \cdot \left[\frac{r_{av} \cdot \Delta}{J_0} \cdot \frac{U}{R} \cdot D(x, y, J_0)_{x_0} \right] \quad B = \frac{1}{\Delta} \left(2 \cdot \Delta_m + \frac{b}{a} \right) \quad C = \frac{1}{\Delta^2} \cdot \left(\Delta_m^2 + \frac{b}{a} \cdot \Delta_m + \frac{c}{a} \right).$$

Based on the possible application areas of the torque motors, among the basic requirements, applied to all the torque motors [7], it should be emphasized that the ratio of torque to the volume, weight, power consumption, management power should be higher to provide the quality of the motor.

The power consumption defines by the following way

$$P = J \cdot U = \frac{U^2}{2p \cdot N \cdot R} \quad (14)$$

Define the torque-power ratio

$$\frac{M}{P} = \frac{k \cdot \Delta^2 [N^2 + B \cdot N + C]}{U^2} \cdot 2p \cdot N \cdot R. \quad (15)$$

Substitute the coefficient k into (8)

$$\frac{M}{P} = \frac{a \cdot \Delta^3 \cdot r_{av} \cdot 2p}{J_0 \cdot U} \cdot D(x, y, J_0)_{x_0} \cdot N \cdot [N^2 + B \cdot N + C] = K \cdot N \cdot [N^2 + B \cdot N + C] \quad (16)$$

After the simultaneous analysis of two expressions (13) and (16), taking into account (10), the number of coils N , which provide the characteristics of the motor defined by the customer determines.

3. Torque motor tape winding characteristics and its connection with design parameters

At present, torque motors are used in technical systems as the gearless drive base. The torque motor has a modular structure, consists of two separate assembly units: a rotor and a stator. The modular motor structure is used for direct integration into the mechanism. The rotor contains high-coercive rare-earth

magnets. The stator has two design versions: "a smooth stator" and "a grooving stator". For precise systems "the smooth stator" is preferable, because there is no cogging torque.

The analysis reveals the specific characteristics of Russian torque motors are worse than foreign devices. Torque motors can be developed by using innovative magnetic materials, changing the rotor design or using new types of windings.

In this situation, it is proposed to replace the traditional winding of the engine with a tape winding with side cutouts. The heat in the winding will be directly transferred to the motor case, and the developed torque increasing will occur due to the high current flowing through the tape winding. In addition, a new motor stator design and technological approach are proposed, including the use of additive technologies; and the possibility of creating the necessary "torque-rotor angle" characteristic. Figure 1 shows the scheme of the tape winding torque motor.

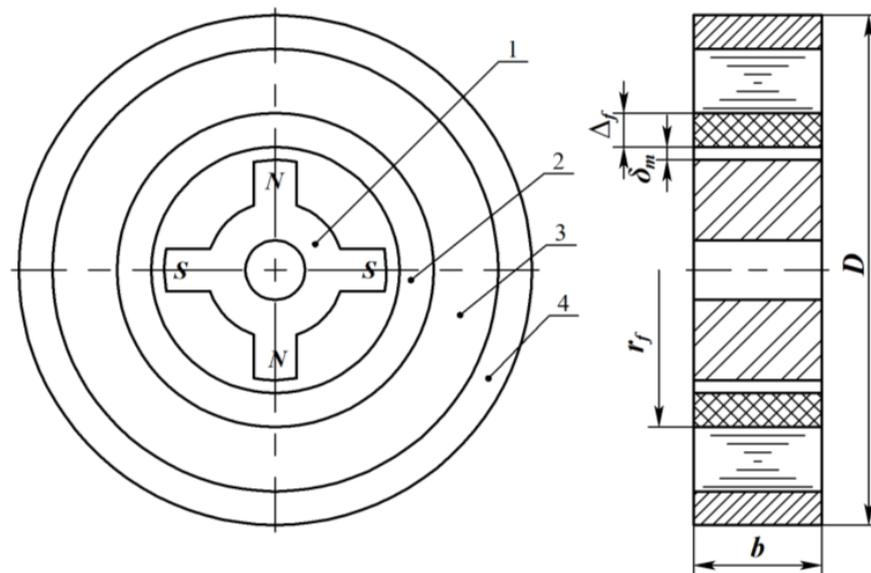


Fig. 1. The scheme of the tape winding torque motor:

1 - Permanent magnets (PM); 2 - Tube frame; 3 - Tape winding; 4 - Core.

The aim of this paper is the determination of the torque dependence over the design parameters of the motor, primarily geometric.

4. Parameters of the Torque Motor Tape Winding

4.1 Single Plate Force

In the tape winding torque motor designing process it must be solved the question about the active element parameters. These parameters are the tape material, its width and thickness, the electroinsulation material and its properties, the geometrical dimensions of the electrodes and others. Moreover, some characteristics of the magnetic circuit are also must be known. Certain parameters can be obtained directly from the design requirement specification, but other should be determined analytically or by full-scale research.

Earlier it is shown that the force generated by a tape winding single plate is determined by the following way

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

where $B(\delta)$ is a flux density; δ is a non-magnetic part of the magnetic circuit length; Δ is a tape thickness; U is a direct current power supply; R is a single plate resistance; N is a number of winding coils or layers; p is a number of magnetic system pole-pairs; $D(x, y, I_0)_{x_c}$ is a double integral over the surface of the magnetic flux action. The integral is calculated when the permanent magnet center is in the point x_c . I_0 is a single current.

4.2 Coil's Number Influence on the Motor's Torque

Transform the expression for the flux density $B(\delta)$ in the dependence $B(N)$. Consider that

$$\delta = \Delta \cdot N + \delta_M, \quad (7)$$

here δ_M is the non-magnetic gap part, including mechanical air gap and the thickness of the non-magnetic tubular base, where the tape winding is wound.

In practice, the flux density variation approximated by the expression

$$B(\delta) = a \cdot \delta^2 + b \cdot \delta + c \quad (8)$$

here a, b, c - approximation coefficients.

According to (7) the expression of the flux density variation can be written as

$$B(N) = a \cdot (\Delta \cdot N + \delta_M)^2 + b \cdot (\Delta \cdot N + \delta_M) + c = a \cdot \Delta^2 \cdot (N^2 + \beta \cdot N + \gamma), \quad (9)$$

where $\beta = \frac{2 \cdot \delta_M}{\Delta} + \frac{b}{a \cdot \Delta}$; $\gamma = \frac{\delta_M^2}{\Delta^2} + \frac{b \cdot \delta_M}{a \cdot \Delta^2} + \frac{c}{a \cdot \Delta^2}$.

Finally, taking into account (6) and (9), the motor's torque has the following form

$$T = \frac{\Delta^4}{2} \cdot a \cdot \frac{U}{I_0 \cdot R} \cdot D(x, y, I_0)_{x_c} \times (N^2 + \beta \cdot N + \gamma) \cdot \left[N + \left(\frac{2 \cdot r_0}{\Delta} - 1 \right) \right]. \quad (10)$$

The analysis of this expression when $D(x, y, I_0)_{x_c} = const$ shows that with the coil's number increasing, the motor's torque decreases according to the flux density variation dependence.

Based on this, we can conclude that the large torque value will be at the small coil's numbers. However, the existing limitations should take into account. The minimum number of coils is determined by the permitted current I_{perm} , which will not damage the power supply and the tape winding

$$\frac{U}{R \cdot N \cdot 2p} \leq J_{perm}, \quad N \geq \frac{U}{2p \cdot R \cdot J_{perm}}. \quad (11)$$

4.3 Torque Motor Characteristics

The main requirements of the torque motor include also a torque-power consumption ratio T_{rat} . This parameter should be as large as possible.

The power consumption can be defined as

$$P = I \cdot U = \frac{U^2}{2p \cdot N \cdot R} \quad (12)$$

The torque-power consumption ratio expression will be

$$T_{rat} = \frac{T(N)}{P(N)} = \frac{\Delta^4 \cdot a \cdot p}{I_0 \cdot U} \cdot D(x, y, I_0)_{x_c} \times \\ \times N \cdot (N^2 + \beta \cdot N + c) \cdot \left[N + \left(\frac{2 \cdot r_0}{\Delta} - 1 \right) \right]. \quad (13)$$

The analysis of (13) shows that with increasing of the coil's numbers the torque-power consumption ratio also increases.

By careful consideration of the (10) and (13), and as well as taking into account (11), the developer must make the right decision on choosing the coil's number of the tape winding according to the requirement specification.

5. The tape winding current impact on the motor's torque curve

The torque curve is one of the main characteristics of the permanent-magnet torque motor. This curve shows the developed torque dependence from the current in the control winding. Generally the torque curve is linear, without the demagnetizing effect of the winding current. It is possible with the rare earth magnets system. However the value of the control current in the tape winding torque motor [5] affects on the torque curve. It can be explained by the motor design, where the large current flowing is possible through the tape winding. This current generates the magnetic flux, which disfiguring the main flux of the motor.

Another important characteristics of the torque motor is the developed torque dependence over the rotor and stator angular position. This dependence released to evaluate torque's pulsations during the rotor movement. The dependence can be determined considering the set of the torque curves over the different stator and rotor positions. In this set the main motor's magnetic flux has the non-uniform deformation.

$$T = B_{\delta} \cdot \frac{r_{av} \cdot \Delta}{I_0} \cdot \frac{U}{R} \cdot D(x, y, I_0). \quad (1)$$

Previously assumed that flux density B_{δ} is the constant value in all subdomains, where the double integration is accomplished. This is suitable for the limited winding current $I = \frac{U}{R}$. But at large currents the flux density depends on current $B_{\delta}(I)$.

Referring to (1), let us reckon that the character of current lines distribution in the winding layers is independent from the flux density and current value: $D(x, y, I_0) = const$. Besides, the geometric parameters are also considered as stable: $\delta = const$, $r_{av} = const$, and $\Delta = const$. Under these conditions (1) can be written as

$$T = k \cdot I \cdot B_{\delta}(I), \quad (2)$$

where $k = \frac{r_{av} \cdot \Delta}{I_0} \cdot D(x, y, I_0) = const$.

The equation (2) reveals that the motor's torque is proportional to the winding current and depends on flux density in the air gap. And the flux density is the function of the current. Furthermore (2) can be written as

$$T = k_2 \cdot I \cdot \sum_{i=1, j=1}^{m, n} [D(x, y, I_0) \cdot B_{\delta}(I)]_{ij}, \quad (3)$$

where $k_2 = \frac{r_{av} \cdot \Delta}{I_0} = const$.

If the pole flux density is non-uniform, distorted by the tape winding current, it is important to divide the tape surface under the pole on $(m \cdot n)$ certain subdomains. Each ij of these subdomains has the constant flux density, equal to the average value $(B_\delta)_{ij}$ for this subdomain. The double integral value $[D(x, y, I_0)]_{ij}$ should also be defined for that subdomain. This is shown in equation (3).

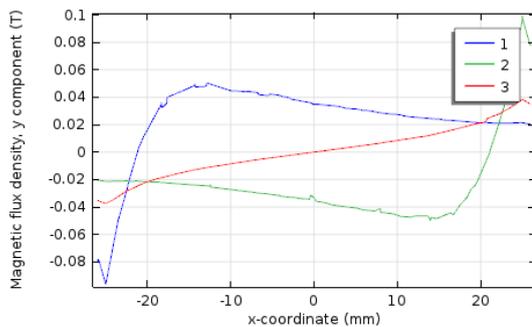
Further the torque curve corresponding to the specified pole position over the tape winding pack can be defined as the dependence at the discrete current values

$$[F(I)]_x = \frac{T}{I} = k_2 \cdot \sum_{i=1, j=1}^{m, n} [D(x, y, I_0) \cdot B_\delta(I)]_{ij}. \quad (4)$$

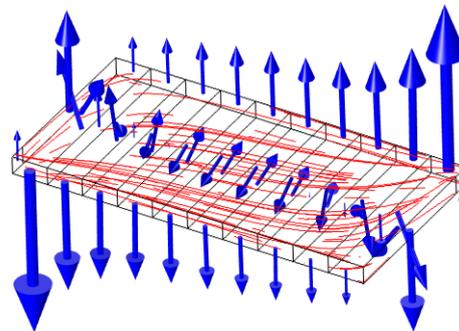
5.1 Numerical simulation

The problem solution is carried out in COMSOL Multiphysics. COMSOL is an interactive environment for modeling and simulating of the scientific and engineering problems.

The blue arrows in Figure 1a show the magnetic flux density and the red lines represent the character of current flowing. Figure 1b shows the graphs of the magnetic flux density distribution over the width of the pack of 50 plates. The total current I_{tot} is equal to 2500 A. It defines as $I_{tot} = N \cdot I$, where N is the number of layers in the pack, I is the current flowing through one layer. Therefore, the generated in this case magnetic field will cause the significant distortion of the main motor's magnetic flux.



a)



b)

Fig. 1. The character of magnetic field distribution: a - the pack of plates; b - the graphs of the flux density over the width: 1, 2 - at the ends of the pack; 3 - in the center of the pack.

The torque motor parametric model is constructed in T-flex CAD system. Figure 2a shows the tape winding fragment with the areas, where the flux density is defined. This is allowed to simulate the relative movement of the motor's magnetic system and the tape winding.

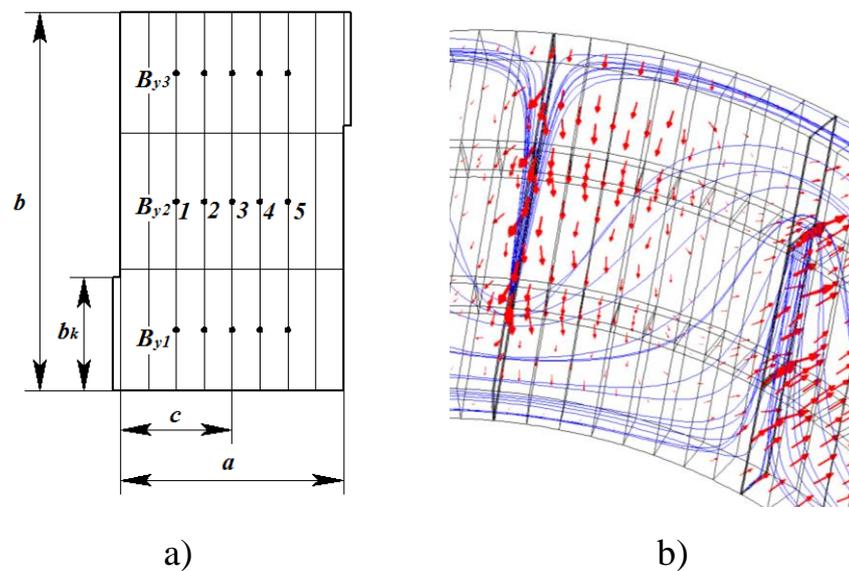


Fig. 2. The tape winding fragment: a - the subdomains of the tape winding pack; b - the character of the resulting magnetic flux density distribution at the position 1.

During the numerical simulation the flux density is resolved in the positions indicated in Figure 2a by three variants:

I variant - Current flows through the tape winding. The magnetic circuit is absent.

II variant - Current flows through the tape winding. The motor's rotor is made of ferromagnetic material, without permanent magnets.

III variant - Current flows through the tape winding. The rotor is represented by neodymium magnets and ferromagnetic poles.

If the current through the tape winding is absent, the motor's magnetic field will have the uniform magnetic field with the flux density about 0.4 T. If the current flows through the tape winding (variant III), the main magnetic flux will deform.

Figure 2b shows the character of the resulting magnetic flux density distribution at the position 1.

The obtained results allow to define the flux density distribution in the air gap. These data are available at the different pole positions. In this case the five positions are selected.

5.2 Results

Based on (3), results of numerical simulation and the previously obtained values of double integral for all selected subdomains of the tape winding pack the developed motor's torques over the five selected rotor positions are calculated. The results are shown in Figure 3 by the dependences for two values of the total current, flowing through the tape.

The curves 1 and 3 represent the dependences without the effect of control current, flowing through the tape winding. The curves 2 and 4 take into account the effect of that current.

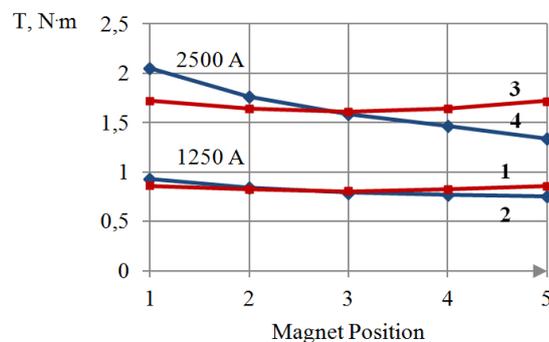


Fig. 3. The motor's torque over the angular movement.

From the graphs in Figure 6 it follows that taking into account the effect of the control current the dependence of the developed torque over the permanent magnet position is deformed. In particular there is the rotation of the dependence relatively to its center. The reversal current cause the rotation in the other direction.

At the total current of the tape winding 2500 A the deformation reaches (25-30) %; at 1250 A – 12 %. In some technical devices such parameters are permitted.

If it is necessary the dependence can be corrected for example by the additional side cuts inside the tape winding plate.