

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ |

УДК 621.316.71: 621.313.333

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 5Г3Г | Черненко Михаил Андреевич | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент | Падалко Д.А. | | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Консультант | Грахова Е.А. | | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Король И.С. | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Зав. кафедрой | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|----------------|------------------------|---------|------|
| ЭКС | Гарганеев А.Г. | д.т.н., профессор | | |

Томск – 2017 г.

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

Институт Энергетический _____
 Направление подготовки (специальность) 13.03.02 Электроэнергетика электротехника
 Кафедра ЭКМ

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ЭКМ

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-----------------------------|
| 5Г2Г | Черненко Михаилу Андреевичу |

Тема работы:

| | | |
|--|--|--------------------|
| Проектирование трехфазного магнитного пускателя для асинхронного двигателя | | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | | 28.12.16г №10915/с |

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 30.05.2017 |
|--|------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|--|--|
| <p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | Трехфазный магнитный пускатель для асинхронного двигателя, $U=380В$, $I=25А$, $f=50$ Гц. |
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Провести расчеты элементов конструкции реле: токоведущий контур, магнитная система, электрические контакты. 2. Определить оптимальные решения в процессе производства пускателя. |
| <p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Презентация в программе Microsoft Power Point. 2. Сборочный чертеж реле. 3. Технологическая часть. |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |

| <i>(с указанием разделов)</i> | |
|---|-----------------------------|
| Раздел | Консультант |
| Основной раздел ВКР | Падалко Дмитрий Андреевич |
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» | Грахова Елена Александровна |
| «Социальная ответственность» | Король Ирина Степановна |
| | |

| | |
|---|---------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 10.02.2016 г. |
|---|---------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент | Падалко Д.А. | к.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 5Г2Г | Черненко М.А. | | |

Запланированные результаты обучения по направлению

13.03.02 Электроэнергетика и электротехник

| Результат обучения |
|---|
| Профессиональные компетенции |
| Р 1 Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем. |
| Р 2 Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов. |
| Р 3 Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты. |
| Р 4 Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы. |
| Р 5 Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники. |
| Р 6 Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях. |
| Универсальные компетенции |
| Р 7 Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники |
| Р 8 Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники. |
| Р 9 Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники. |
| Р 10 Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности. |
| Р 11 Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности. |
| Р 12 Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники. |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| | |
|-----------------------|---|
| Группа 5Г3Г | ФИО Черненко Михаил Андреевич |
|-----------------------|---|

| | | | |
|---------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Институт | ЭНИН | Кафедра | ЭКМ |
| Уровень образования | Бакалавр | Направление/специальность | Электрические и электронные аппараты |

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

| | |
|---|---|
| <i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | - Примерный бюджет проекта – 300000 руб.; - В реализации проекта задействован подрядчик |
| <i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» |
| <i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | Отчисления по страховым взносам 30% от ФОТ |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| <i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | - формирование вариантов решения с учётом научного и технического уровня |
| <i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> | - планирование выполнения проекта - расчёт бюджета на проектирование; - расчёт капитальных вложений в основные средства |
| <i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i> | определение ресурсоэффективности |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| | |
|----|--|
| 1. | |
|----|--|

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------------|---------------------------|----------------|-------------|
| 5Г3Г | Черненко Михаил Андреевич | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|---------------|-----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5Г3Г | Черненко Михаилу Андреевичу |

| | | | |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|---|
| Институт | Энергетический | Кафедра | Электромеханических комплексов и материалов |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|---|--|
| <p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p> | <p>Объектом исследования является магнитный пускатель. Изготовленный из металлокерамики. Применяется в схемах управления для коммутации силовых цепей от источника с малым током. Устанавливается в электрическом шкафу управления на подстанциях.</p> |
|---|--|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|---|
| <p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); | <p>1.1.К вредным факторам при разработке и эксплуатации проектируемого пускателя относятся: повышение шума и вибрации. Уровень шума может достигать от 30 до 75 дБЛ, согласно ГОСТу 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Средствами защиты являются: противозумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы. Общие требования безопасности. Данное значение является допустимым. Уровень вибрации имеет диапазон от 0,1 до 10 Гц. Согласно ГОСТу 31191.4-2006. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка её воздействия на человека. Средствами защиты являются: специальная обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов.</p> <p>1.2.К опасным факторам при разработке</p> |
|--|---|

| | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). | <p>магнитного пускателя относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> – термическая опасность, например, прикосновение к токоведущим частям. Согласно ГОСТу 12.1.038–82 ССБТ исключить возможность термической опасности можно соблюдая средства защиты – повышенный уровень статического электричества (ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ). Основным способом исключения возникновения электростатического заряда является исправное заземление; – пожаробезопасность (ГОСТ 12.1.004-91). В случае возникновения пожара, обесточить источник возгорания и потушить возгорание имеющимся огнетушителем или песком. Класс Е – пожары электроустановок. |
| <p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. | <p>2.Влияние на селитебную зону и гидросферу при производстве магнитного пускателя отсутствует. Возможно загрязнение атмосферы при пожаре, происходит выброс угарного газа. При поломке пускателя, его следует утилизировать, чтобы не загрязнять литосферу. Так как материал из которого состоит пускатель (пластмассы, алюминий, медь), долго разлагаются. ГОСТ12.1.005-88 ССБТ</p> |
| <p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. | <p>3.Основными чрезвычайными ситуациями при работе и эксплуатации магнитного пускателя бывают: короткое замыкание, перегрев, возгорание и большие токи. ГОСТ 12.1.004-91. Для предотвращения чрезвычайных ситуаций необходимо:</p> <ul style="list-style-type: none"> • обеспечивать своевременное проведение профилактических осмотров и планово-предупредительных ремонтов электрооборудования и своевременное устранение нарушений правил техники эксплуатации электроустановок |

| | |
|--|--|
| | <p>потребителей, могущих привести к пожарам и загораниям;</p> <ul style="list-style-type: none"> • следить за правильностью применения и выбора кабелей и проводов электрооборудования в зависимости от класса пожаро- и взрывоопасное помещений и условий среды; • систематически контролировать и поддерживать в исправном состоянии аппараты защиты от коротких замыканий и перегрузок и устройства молниезащиты; • обеспечивать исправность средств для ликвидации пожаров в электроустановках и кабельных сооружениях.. • организовывать обучение и инструктаж электротехнического персонала по вопросам пожарной безопасности при эксплуатации электроустановок; |
| <p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | <p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности Требования безопасности к рабочему месту в соответствии с ГОСТ 21752-76. Персонал, обслуживающий магнитные пускатели, должен знать настоящую инструкцию, устройство, принцип действия выключателя. Обслуживающий персонал должен иметь не ниже III группы допуска. Работник обязан знать правила внутреннего порядка. Длительность рабочей смены бригады по электроустановкам составляет 11 часов (статья 103 ТК РФ).</p> |

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

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|-------------------------|------------------------|---------|------|
| доцент кафедры ЭБЖ | Король Ирина Степановна | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 5ГЗГ | Черненко Михаил Андреевич | | |

РЕФЕРАТ

Дипломная работа включает в себя: 94 страницы, 15 рисунков, 13 таблиц, 16 источников, 3 приложения.

Объект исследования – магнитный пускатель.

Цель работы: проектирование магнитного пускателя для асинхронного двигателя.

Задачи:

- анализ выбранного прототипа магнитного пускателя для асинхронного двигателя;
- расчет основных параметров магнитного пускателя.

В выпускной квалификационной работе рассмотрены понятия и свойства магнитного пускателя, приведено описание предметных областей, классификации и методы разработки пускателей.

Результатом проведенной работы является спроектированный магнитный пускатель.

Ключевые слова: магнитный пускатель, электрические аппараты, переменное напряжение.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение..... | 13 |
| 1.Расчет токоведущего контура и его частей..... | 15 |
| 1.1.Определение размеров сечения шины..... | 16 |
| 1.1.1Расчет сечения шины по термической стойкости..... | 17 |
| 1.1.2.Расчет сечения шины по номинальному току..... | 18 |
| 1.1.3.Проверка..... | 21 |
| 1.2.Проектирование контактного соединения..... | 22 |
| 2.Расчет коммутирующего контакта..... | 24 |
| 2.1.Тепловой расчет..... | 29 |
| 2.2.Динамическая стойкость..... | 31 |
| 3.Расчет дугогасительной системы..... | 32 |
| 4.Расчет массогабаритных показателей и надежности контактов..... | 36 |
| 5.Расчет механической характеристики..... | 38 |
| 5.1.Выбор вида пружины и ее материала..... | 39 |
| 5.2.Расчет параметров возвратной пружины..... | 40 |
| 5.3.Расчет контактной пружины..... | 43 |
| 6.Расчет основных размеров сердечника и катушки электромагнита переменного тока.... | 46 |
| 7.Расчет катушки..... | 48 |
| 8.Проектирование электромагнитного экрана..... | 51 |
| 9.Расчет магнитной цепи с учетом влияния стали и короткозамкнутого витка..... | 56 |
| 10.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... | 59 |
| 10.1Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование..... | 60 |
| 10.2.Анализ конкурентных технических решений..... | 61 |
| 10.3.Определение возможных альтернатив проведения научных исследований..... | 63 |
| 10.4.Структура работ в рамках научного исследования..... | 64 |
| 10.5.Определение трудоемкости выполнения работ..... | 65 |
| 10.6.Разработка графика проведения научного исследования..... | 66 |

| | |
|---|----|
| 10.7. Бюджет научно-технического исследования..... | 70 |
| 10.7.1 Основная заработная плата исполнителей темы..... | 71 |
| 10.7.2 Дополнительная заработная плата исполнителей темы..... | 74 |
| 10.7.3 Отчисления во внебюджетные фонды..... | 75 |
| 10.7.4 Накладные расходы..... | 76 |
| 10.7.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта..... | 76 |
| 10.8. Определение ресурсоэффективности проекта..... | 77 |
| 11. Социальная ответственность..... | 79 |
| 11.1. Производственная безопасность..... | 79 |
| 11.1.1 Повышение уровня шума..... | 80 |
| 11.1.2 Повышение вибрации..... | 81 |
| 11.1.3 Повышенный уровень статического электричества..... | 81 |
| 11.2. Пожаробезопасность..... | 84 |
| 11.3. Экологическая безопасность..... | 84 |
| 11.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях..... | 86 |
| 11.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности..... | 87 |
| Заключение..... | 88 |
| Список литературы..... | 90 |
| Приложение А..... | 92 |
| Приложение Б..... | 93 |

ВВЕДЕНИЕ

Электрические аппараты разделяются на 2 группы. Первая группа - это группа низкого напряжения, туда входят аппараты номинального напряжения, не превышающего 1000 В. Вторая группа - это группа высокого напряжения, номинальное напряжение аппаратов выше 1кВ.

Рабочее напряжение проектируемого аппарата составляет 380В, таким образом данный аппарат относится к группе низкого напряжения.

Аппараты низкого напряжения разделяются на несколько разновидностей:

1. аппараты управления;
2. аппараты для распределительных устройств;
3. преобразователи статические;
4. регуляторы автоматические;
5. реле и электромеханические преобразователи автоматики.

Электрические аппараты управления - аппараты, которые управляют режимами работы промышленного оборудования, так же эти аппараты осуществляют управление режимами работы низковольтных распределительных сетей. Материалом для контактных и токоведущих частей в аппаратах управления является медь или материалы на ее основе. Заменить медные токоведущие части аппаратов можно на алюминиевые - это удешевит аппарат, но потребует наибольшей надежности в болтовых контактах алюминиевых токоведущих частях, как следствие масса-габаритных показателей.

СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Магнитный пускатель – это электрический аппарат, который, по существу, представляет собой контактор переменного или постоянного тока предназначенный для пуска, реверса и отключения асинхронных электродвигателей. В магнитный пускатель могут встраиваться дополнительные элементы, например, тепловое реле, которое осуществляет защиту от токов перегрузки и «потери фазы». В этом случае магнитный пускатель представляет комплектное устройство, в состав которых входит контактор и реле.

Пускатели классифицируются по ряду признаков:

1. по виду схемы включения электродвигателя (неревверсивные и реверсивные);
2. по номинальному напряжению главной цепи;
3. по степени защиты (IP);
4. по наличию кнопок на корпусе;
5. по роду тока;
6. по величине напряжения катушки;
7. по наличию блокировочных и сигнальных контактов;
8. по роду тока.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ВЫБОР ПРОТОТИПА МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ

Исходя из условий работы, номинального тока и оптимальных соотношений габаритов и массы, в качестве прототипа выбран магнитный пускатель серии ПМ12, который имеет достаточно простую конструкцию и технологию изготовления.

Магнитные пускатели серии ПМ12 применяются в схемах управления электроприводами на напряжение до 1000 В и переменным током частоты 50 и 60 Гц в категориях применения АСС1, АСС3 и АСС4. Пускатели ПМ12 предназначены для дистанционного пуска непосредственным подключением

к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Проектируемый магнитный пускатель рассчитан для асинхронных двигателей мощность которых составляет не более 15 кВт.

Пускатели ПМ12 обладает степенью защиты IP54 изготавливаются в исполнении по износостойкости А, Б, В как для поставок внутри страны, так и на экспорт.

1. РАСЧЕТ ТОКОВЕДУЩЕГО КОНТУРА И ЕГО ЧАСТЕЙ

В состав токоведущего контура аппарата входят различные по конструкции и конфигурации части. К этим частям относятся: провода, кабели, зажимы контактных выводов, стержни, шины, перемычки, коммутирующие контакты, контактодержатели и др.

Определение размеров сечения частей токоведущего контура – это основная задача расчета. Полученный результат поможет определить основные габаритные размеры магнитного пускателя. Величину сечения принято считать исходной величиной для расчетов.

Расчет производим в режиме S3 – повторно-кратковременный режим.

В бакалаврской работе согласно техническому заданию, для пуска двигателя мощностью 15 кВт необходимо, чтобы значение номинального тока было 25 ампер.

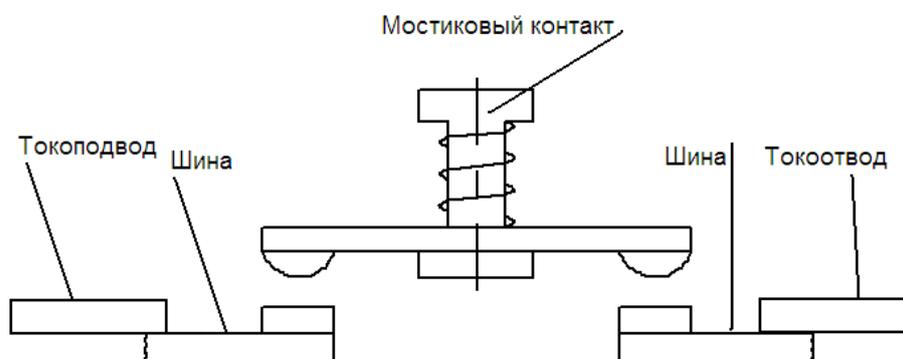


Рисунок 1 – схема токоведущего контура

$$I_{кз} = I_H \cdot 10 = 25 \cdot 10 = 250 A; \quad n = a/b = (6 \div 10) = 6.$$

Проводник и изоляция, которая окружает его, имеют разные допустимого нагрева. Причина этого то, что диэлектрические свойства изоляции значительно ухудшаются, при высоких температурах. Поэтому согласно ГОСТ 8865-70 используем в магнитном пускателе шину, соответствующие классу нагревостойкости В [1, с. 25], для которой допустимая температура проводника в повторно-кратковременном режиме $T_D = 105 \text{ }^\circ\text{C}$. Задаем запас $\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$T = T_D - \Delta T = 105 - 5 = 100^\circ\text{C},$$

Таким образом, превышение температуры $\tau = T - T_{окр} = 100 - 40 = 60^\circ\text{C}$.

1.1 Определение размеров сечения шины

Определение размеров сечения шины производится по номинальному току и термической устойчивости (см. рисунок 2). Термическая устойчивость – это свойство аппарата выдерживать температуры, которые кратковременно создаются током короткого замыкания. Это свойство характеризуется номинальным током термической устойчивости, т.е. величиной тока неизменной силы, тепловое действие которой аппарат может выдержать в течение заданного времени так, что это не повлияет на его дальнейшую работу.

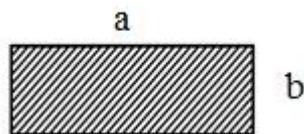


Рисунок 2 – эскиз сечения шины

В основном время воздействия токов короткого замыкания значительно меньше времени постоянного нагрева токоведущих частей. Поэтому процесс является адиабатическим, т.е. происходит без отдачи тепла в окружающую среду.

1.1.1 Расчёт сечения шины по термической стойкости.

Рассчитываем размеры сечения шины по времени короткого замыкания, установленного рекомендациями МЭК (1,3,5,10 секунд). Расчет производим на время короткого замыкания $t_{кз} = 3$ с. Материалом шины принимаем – латунь, марка Л63Т [9].

Допустимая температура изолированных частей аппарата в режиме короткого замыкания нагрева токоведущих частей из латуни согласно [1, с. 31, табл. 1-4] $T_K = 300$ °С.

Рассчитываем площадь сечения шины [2, с.415, формула 17- 9]

$$S_T = I_{кз} \sqrt{\frac{t_{кз}}{A_K - A_H}} = 250 \cdot \sqrt{\frac{3}{(3,55 - 1,65) \cdot 10^4}} = 3,141 \text{ мм}^2 ,$$

где A_K и A_H определяются из кривых нагрева проводников при кратковременном протекании тока для латуни [2, с. 415, рис. 17-2]

$$A_K = 3,55 \cdot 10^4 \frac{\text{А}^2 \cdot \text{с}}{\text{мм}^4} \text{ при } T_K = 300 \text{ °С} ,$$

$$A_H = 1,65 \cdot 10^4 \frac{\text{А}^2 \cdot \text{с}}{\text{мм}^4} \text{ при } T = 100 \text{ °С} .$$

Так как $S = a \cdot b$ и $n = \frac{a}{b} = 6$, получаем

$$a_T = \sqrt{n \cdot S_T} = \sqrt{6 \cdot 3,341} = 4,34 \text{ мм} \text{ — ширина шины, рассчитанная по термической стойкости.}$$

$$b_T = \sqrt{\frac{S_T}{n}} = \sqrt{\frac{3,141}{6}} = 0,724 \text{ мм} \text{ — толщина шины, рассчитанная по термической стойкости.}$$

Полученное значение b_T округляем до ближайшего стандартного значения из ряда размеров шины ,выпускаемых заводом «Уралпрокат» [10].

Принимаем $b_T = 0,7$ мм.

$$\text{Уточняем значение } a_T = \frac{S_T}{b_T} = \frac{3,141}{0,7} = 4,487 \text{ мм} .$$

Уточняем площадь сечения шины:

$$S_T = a_T \cdot b_T = 4,487 \cdot 0,7 = 3,141 \text{ мм}^2.$$

1.1.2 Расчёт сечения шины по номинальному току

Производим расчет сечения проводника по номинальному току. В электрических аппаратах тепловые процессы протекают в пределах ограничения температур, это означает, что сложные процессы трех видов теплообмена (конвекция, излучение и теплопроводность) можно рассчитывать как отдельные действия каждого вида, а затем складывать параметр. Так как влияние теплопроводности не значительно, учитываем только вид конвекции и излучения

Определяем среднюю температуру:

$$T_{cp} = T_{окр} + \frac{T}{2} = 40 + \frac{60}{2} = 70^{\circ} \text{C}.$$

Рассчитываем коэффициент теплоотдачи видом конвекция:

$$K_{ТОк} = \left(1,39 - \frac{T_{cp}}{700}\right) \left(\frac{\tau}{a_T}\right)^{0,25} = \left(1,39 - \frac{70}{700}\right) \cdot \left(\frac{60}{0,00449}\right)^{0,25} = 13,87 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Коэффициент теплоотдачи видом излучение:

$$K_{ТОи} = 0,227 \cdot \zeta \cdot \left(\frac{T_{cp} + 273}{100}\right)^3 = 0,227 \cdot 0,3 \left(\frac{70 + 273}{100}\right)^3 = 2,748 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}},$$

где ζ – это степень черноты меди [3, с. 590, табл. П5] $\zeta = 0,3$.

Рассчитываем суммарный коэффициент теплоотдачи:

$$K'_{ТО} = K_{ТОк} + K_{ТОи} = 13,87 + 2,748 = 16,62 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Коэффициент теплоотдачи уменьшится на 20-50 %, так как шина окружена другими частями аппарата. Примем коэффициент ухудшения $K_y = 1,5$.

$$K_{ТО} = \frac{K'_{ТО}}{K_y} = \frac{16,62}{1,5} = 11,08 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Рассчитаем удельное сопротивление меди при температуре T [2, с. 382, формула 15-3]

$$\rho = \rho_{20} (1 + \alpha(T - 20)) = 0,0184 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 0,0043(100 - 20)) = 2,156 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где ρ_{20} – удельное сопротивление медного проводника при 20 °С, [2, с. 382, табл. 15-3] $\rho_{20} = 0,01840 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$;

α – температурный коэффициент сопротивления [2, с. 383], для меди
 $\alpha = 0,0043 \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

Рассчитываем геометрический показатель:

$$\Gamma = \frac{I_H^2 \cdot \rho \cdot 10^9}{K_{TO} \cdot \tau} = \frac{25^2 \cdot 2,156 \cdot 10^{-8} \cdot 10^9}{11,08 \cdot 60} = 20,274 \text{ мм}^2.$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{\Gamma}{2 \cdot n(n+1)}} = \sqrt[3]{\frac{20,247}{2 \cdot 6 \cdot (6+1)}} = 0,623 \text{ мм}.$$

Округляем b исходя из стандартного ряда значений $b = 0,7$ мм (завод «Уралпрокат» [10]).

$$a = \sqrt{\frac{\Gamma}{2b} + \frac{b^2}{4}} - \frac{b}{2} = \sqrt{\frac{20,274}{2 \cdot 0,6} + \frac{0,6^2}{4}} - \frac{0,6}{2} = 3,821 \text{ мм} \approx 4 \text{ мм}.$$

Уточним значение размера a , так как он изменился:

Коэффициент теплоотдачи конвекцией

$$K_{ТОК} = \left(1,39 - \frac{T_{cp}}{700}\right) \left(\frac{\tau}{a_T}\right)^{0,25} = \left(1,39 - \frac{70}{700}\right) \cdot \left(\frac{60}{0,004}\right)^{0,25} = 14,276 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Коэффициент теплоотдачи способом излучение не изменится.

Определяем суммарный коэффициент теплоотдачи

$$K'_{TO} = K_{ТОК} + K_{ТОИ} = 14,276 + 2,748 = 17,024 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Коэффициент теплоотдачи уменьшается на 20-50 % потому что шина окружена частями аппарата, а не находится в воздухе. Принимаем коэффициент ухудшения $K_y = 1,5$.

$$K_{TO} = \frac{K'_{TO}}{K_y} = \frac{17,024}{1,5} = 11,349 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Удельное сопротивление меди не изменится.

Определение значения геометрического показателя:

$$\Gamma = \frac{I_H^2 \cdot \rho \cdot 10^9}{K_{TO} \cdot \tau} = \frac{25^2 \cdot 2,156 \cdot 10^{-8} \cdot 10^9}{11,349 \cdot 60} = 19,789 \text{ мм}^2.$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{\Gamma}{2 \cdot n(n+1)}} = \sqrt[3]{\frac{20,247}{2 \cdot 6 \cdot (6+1)}} = 0,618 \text{ мм.}$$

Округляем b исходя из стандартного ряда значений $b = 0,7$ мм (завод «Уралпрокат» [10]).

Уточняем значение размера a :

$$a = \sqrt{\frac{\Gamma}{2b} + \frac{b^2}{4}} - \frac{b}{2} = \sqrt{\frac{19,789}{2 \cdot 0,6} + \frac{0,6^2}{4}} - \frac{0,6}{2} = 3,77 \text{ мм.}$$

Коэффициент теплоотдачи способом конвекция:

$$K_{\text{ТОК}} = \left(1,39 - \frac{T_{\text{сп}}}{700}\right) \left(\frac{\tau}{a_T}\right)^{0,25} = \left(1,39 - \frac{70}{700}\right) \cdot \left(\frac{60}{0,00488}\right)^{0,25} = 14,489 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Коэффициент теплоотдачи способом излучение не изменится.

Рассчитываем суммарный коэффициент теплоотдачи.

Коэффициент теплоотдачи уменьшается на 20-50 % потому что шина окружена другими частями аппарата, а не находится в воздухе. Коэффициент ухудшения принимаем за 1,5 $K_y = 1,5$.

$$K_{\text{ТО}} = \frac{K'_{\text{ТО}}}{K_y} = \frac{17,237}{1,5} = 11,491 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Удельное сопротивление меди не изменится.

Рассчитываем геометрический показатель:

$$\Gamma = \frac{I_H^2 \cdot \rho \cdot 10^9}{K_{\text{ТО}} \cdot \tau} = \frac{25^2 \cdot 2,156 \cdot 10^{-8} \cdot 10^9}{11,491 \cdot 60} = 19,544 \text{ мм}^2,$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{\Gamma}{2 \cdot n(n+1)}} = \sqrt[3]{\frac{19,544}{2 \cdot 6 \cdot (6+1)}} = 0,615 \text{ мм.}$$

Округляем b по стандартному ряду значений $b = 0,7$ мм (завод «Уралпрокат» [10]).

$$a = \sqrt{\frac{\Gamma}{2b} + \frac{b^2}{4}} - \frac{b}{2} = \sqrt{\frac{19,544}{2 \cdot 0,6} + \frac{0,6^2}{4}} - \frac{0,6}{2} = 3,747 \text{ мм.} \approx 4 \text{ мм.}$$

Принимаем $a = 4$ мм.

Фактическая площадь шины: $S_H = ab = 4 \cdot 0,7 = 2,8 \text{ мм}^2$.

Выбираем, рассчитанные по номинальному току размеры шины (S_H), так как они удовлетворяют и расчету по термической стойкости.

1.1.3 Поверка

Определяем превышение температуры и термическую стойкость.

Превышение температуры поверхности шины над температурой окружающей среды определяется по формуле.

$$P_{20} = \frac{I_H^2 \cdot \rho_{20}}{S_T} = \frac{25^2 \cdot 1,84 \cdot 10^{-8}}{3,141 \cdot 10^{-6}} = 3,66 \text{ Вт/м}.$$

$$\Pi = 2 \cdot (a + b) = 2 \cdot (4 + 0,7) 10^{-3} = 0,0094 \text{ м}.$$

$$\tau = \frac{P_{20}(1 + \alpha_{20}(T_0 - 20))}{K_{TO}\Pi - \alpha_{20}P_{20}} = \frac{3,66(1 + 0,0043(40 - 20))}{11,491 \cdot 0,0094 - 0,0043 \cdot 3,66} = 43,1^\circ \text{C}.$$

Перегрев получился незначительным, потому что шина выбрана по номинальному току.

Рассчитываем ток короткого замыкания для выбранного сечения, где время короткого замыкания $t_{КЗ} = 1 \text{ с}$

$$I_{TC} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot c \cdot S_T^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + \alpha T_{КЗ}}{1 + \alpha T_H}\right)}{\rho \cdot \alpha \cdot t_{КЗ}}} = \sqrt{\frac{8900 \cdot 390 \cdot 3,141^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + 0,0043 \cdot 300}{1 + 0,0043 \cdot 100}\right)}{2,156 \cdot 10^{-8} \cdot 0,0043 \cdot 1}} = 417 \text{ А},$$

где γ – плотность меди [1, с. 30, табл. 1-3] $\gamma = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

c – удельная теплоемкость, для меди [1, с. 30, табл. 1-3] $c = 390 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$

$$I_{TC} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot c \cdot S_T^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + \alpha T_{КЗ}}{1 + \alpha T_H}\right)}{\rho \cdot \alpha \cdot t_{КЗ}}} = \sqrt{\frac{8900 \cdot 390 \cdot 3,141^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + 0,0043 \cdot 300}{1 + 0,0043 \cdot 100}\right)}{2,156 \cdot 10^{-8} \cdot 0,0043 \cdot 3}} =$$

$= 250,8 \text{ А}$, при $t_{КЗ} = 3 \text{ с}$,

$$I_{TC} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot c \cdot S_T^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + \alpha T_{КЗ}}{1 + \alpha T_H}\right)}{\rho \cdot \alpha \cdot t_{КЗ}}} = \sqrt{\frac{8900 \cdot 390 \cdot 3,141^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + 0,0043 \cdot 300}{1 + 0,0043 \cdot 100}\right)}{2,156 \cdot 10^{-8} \cdot 0,0043 \cdot 5}} =$$

= 186,5 А, при $t_{кз} = 5$ с ,

$$I_{TC} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot c \cdot S_T^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + \alpha T_{кз}}{1 + \alpha T_H}\right)}{\rho \cdot \alpha \cdot t_{кз}}} = \sqrt{\frac{8900 \cdot 390 \cdot 3,141^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + 0,0043 \cdot 300}{1 + 0,0043 \cdot 100}\right)}{2,156 \cdot 10^{-8} \cdot 0,0043 \cdot 10}} =$$

= 131,9 А, при $t_{кз} = 10$ с ,

Результаты расчета токоведущей шины при номинальном токе показали, что магнитный пускатель способен выдерживать тяжелые условия работы, так как он рассчитан на протекание тока короткого замыкания в течении 10 секунд.

1.2 Проектирование контактного соединения

В пускателе применяются не размыкаемые во время работы контактные соединения. Это зажимы для соединения токоведущих частей внутри аппарата и присоединения внешних проводов. Выбираем свинченные соединения.

Определим болт лишь для зажимов, так как мы применяем контактные зажимы.

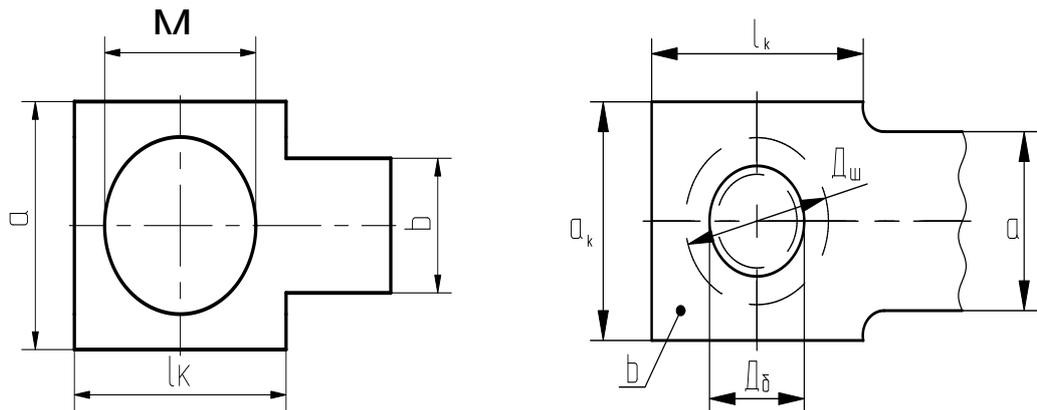


Рисунок 3 – эскиз болтового соединения

Размер болта выбираем по значению номинального тока. Выбираем размер М3. Материал болта сталь 3. Защитное покрытие - лужение (припой оловянный).

Развиваемая данным болтом расчетная сила $F_{\delta} = 160$ кгс. [2, с. 469, табл. 22-3]

Для обеспечения механической прочности установки болта необходимо, чтобы согласно [2, стр. 469, табл. 22-3], площадка под болт имела размеры не меньше $a_k = l_k = 4$ мм. где l_k – длина площадки шины, на которую будет устанавливаться болт.

Рассчитываем усилие болта

$$P_0 = \frac{F_{\delta}}{S} = \frac{160}{0,4} = 400 \text{ кгс/см}^2.$$

Проверка условия: $P_0 > 100$ кгс/см² ($400 > 100$). Условие выполняется.

Определяем переходное сопротивление соединения контактов согласно [2, стр. 470, формула 22-6]

$$R_{\text{пх}} = \frac{K_{\text{пх}}}{n(F_{\delta})^m} \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha(T_d - T_{\text{окр}})\right) = \frac{0,07 \cdot 10^{-3}}{1(100)^{0,7}} \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0043(105 - 40)\right) = 3,306 \cdot 10^{-6} \text{ Ом},$$

где $K_{\text{пх}}$ – коэффициент, который характеризует свойство материала и состояние поверхности контактов, для соединения медь-медь, луженые поверхности $K_{\text{пх}} = (0,07 \div 0,1) \cdot 10^{-3} \text{ Ом/кгс}^m$ [2, стр. 99];

m – коэффициент, который учитывает форму частей контактного соединения $m = 0,7$;

n – число болтов в соединении.

Рассчитываем сопротивление контакт-детали:

$$R_{\text{кх}} = K_{\text{ш}} \cdot \rho \cdot \frac{l_k}{a_k b_r} = 0,657 \cdot 2,156 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6 \cdot 10^{-3}} = 2,361 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$$

$$\text{где } K_{\text{ш}} = 0,5 + 0,9 \frac{b_r}{a_k} = 0,5 + 0,9 \frac{0,7}{4} = 0,657$$

Полное сопротивление контактного соединения равно:

$$R_k = R_{\text{пх}} \cdot R_{\text{кх}} = 3,306 \cdot 10^{-6} + 2,361 \cdot 10^{-5} = 2,692 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$$

Проверка условия: $R_k \leq R_{\text{пр}} \quad 2,692 \cdot 10^{-5} \leq 3,53 \cdot 10^{-5}$

Условие выполняется.

Определим падение напряжения контактного соединения при номинальном токе.

$$U_K = R_K \cdot I_K = 2,692 \cdot 10^{-5} \cdot 25 = 0,673 \text{ мВ}$$

Падение напряжения на контактах аппарата не должно превышать 5÷10 мВ. Данное условие выполняется.

Рассчитаем превышение значения температуры контактной площадки над температурой проводника.

$$\Delta \Theta_{\text{кх}} = \frac{U_k^2}{8\lambda\rho} = \frac{(0,673 \cdot 10^{-3})^2}{8 \cdot 390 \cdot 2,156 \cdot 10^{-8}} = 0,006733 \text{ мВ}^0\text{С}, \quad \text{полученное значение}$$

меньше (4-10) °С, следовательно, расчет верен.

2. РАСЧЕТ КОММУТИРУЮЩЕГО КОНТАКТА

Форма контактов определяется множеством факторов. Главные контакты должны иметь как можно меньшее электрическое сопротивление. Двукратный разрыв или мостиковый контакт целесообразно применять при номинальных напряжениях 220-380 В переменного тока и токах от единиц ампер индуктивной нагрузки. К преимуществам такого типа контактного соединения относятся: значительно большая, по сравнению с однократным, коммутационная способность и отсутствие быстро изнашивающегося гибкого соединения. Недостатком применения такого контакта является необходимость удвоения усилия контактного нажатия, и необходимость увеличения приводного механизма аппарата. Форма контактной поверхности зависит также от величины тока. Для аппаратов со значением номинального тока до нескольких десятков ампер наиболее частым является применение точечного контакта сфера-плоскость. Такая форма даже одного из контактов позволяет очистить от пыли место контактирования. Малые силы нажатия вызывают необходимость применения неокисляющихся дорогостоящих металлов.

Выбираем плоскую форму площадки для неподвижных контактов, а сферическую для подвижных контактов (рисунок 4). Фактически контакт сфера-плоскость.

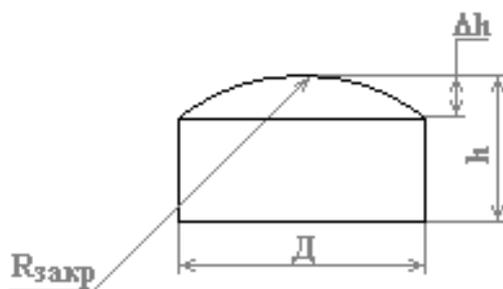


Рисунок 4 – контактная накладка круглой формы

Размеры контактов выбираем по величине номинального тока. При токе 25 А, диаметр контакта находится в пределах $D=6$ мм, а высота $h_K=1,7$ мм. Теоретическое количество точек соприкосновения контактов $n=1$.

К свойствам материала, из которого изготовлены коммутирующие контакты, предъявляют ниже перечисленные требования: высокая теплопроводность, низкое удельное и контактное переходные сопротивление, теплоемкость и температура плавления, высокая твердость, которая обуславливает механическую износостойкость, высокая коррозионная стойкость и стойкость против сваривания, материал должен обладать хорошими технологическими свойствами, а так же иметь невысокую стоимость.

Выбор конструктивных форм контактной системы аппарата определяется многими факторами. Выбираем мостиковый коммутирующий контакт, так как имеется малое значение тока (от единиц до нескольких десятков ампер).

Мостиковые контакты образуются из подвижной контакт-детали – мостика 1 (рисунок 3 а, б) и неподвижных контакт-деталей 3 и 4, к которым пайкой или сваркой прикреплены рабочие поверхности 2. Ток проходит от неподвижной контакт-детали 3 через подвижный мостик 1 к другой неподвижной контакт-детали 4. При разомкнутых контакт-деталях создается двойной разрыв между ними, что является преимуществом по сравнению

с контактами других типов. Другое преимущество – отсутствие гибких связей между подвижными и неподвижными токоведущими частями.

У мостиковых контактов отсутствует перекатывание и проскальзывание контакт-деталей, следовательно, нет возможности самоочищения. Поэтому рабочие поверхности контакт-деталей изготавливают не из меди, а из серебра или металлокерамики на базе серебра и выполняют в виде плоскость – плоскость, плоскость – сфера, плоскость – цилиндр и сфера – сфера.

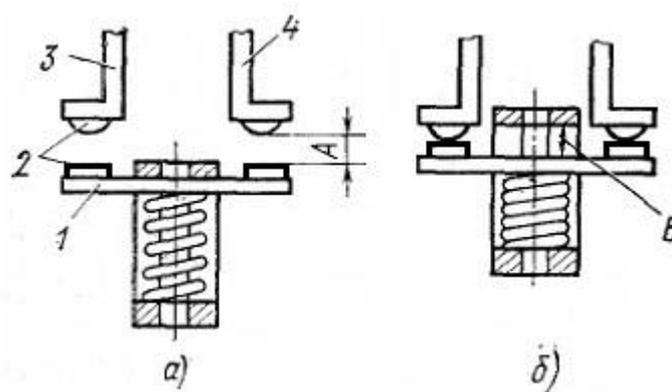


Рисунок 5 – мостиковый коммутирующий контакт

В качестве материала контакта выбираем серебро, окись кадмия с мелкодисперсной структурой (85%Ag-15%CdO), имеет следующее обозначение КМК А10м. Этот материал удовлетворяет большинству требований, предъявляемых к контактам, имеет высокую дугостойкость, высокую стойкость против сваривания и высокую износостойкость.

Основные свойства материала [2, с. 86, табл. 5-3]:

Плотность: $\gamma = 9,7 \text{ г/см}^3$,

Удельное электрическое сопротивление: $\rho_{20} = 1,84 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$,

Теплопроводность: $\lambda = 325 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$,

Твердость по Бринеллю: $H_B = (8,0 \div 10,5) \cdot 10^8 \text{ Па}$,

Температурный коэффициент сопротивления: $\alpha = 0,0043 \text{ 1/град}$,

Модуль упругости: $E = 13 \cdot 10^{10} \text{ Па}$.

Геометрические размеры коммутирующих контактов главным образом зависят от величины номинального тока.

Форму площадки подвижного контакта принимаем сферической.

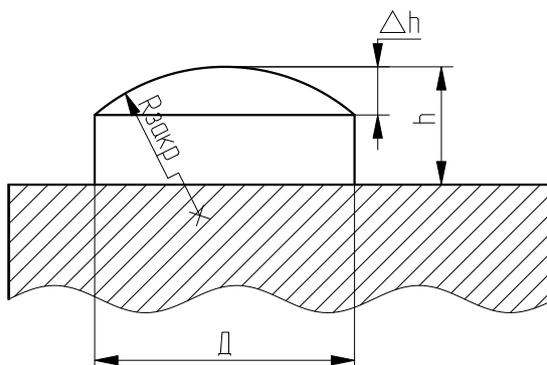


Рисунок 6 – контактная накладка сферической формы

Размеры цилиндрических контактных накладок принимаем по величине номинального тока. Согласно [2, с. 94, табл. 5-5] принимаем значение диаметра $D = 6$ мм и высоту контакта $h = 1,7$ мм. Теоретическое количество точек соприкосновения контактов $n = 1$.

Определяем радиус закругления контактов

$$R_{\text{закр}} = \frac{(D/2)^2 + \Delta h^2}{2 \cdot \Delta h} = \frac{(6/2)^2 + 0,4^2}{2 \cdot 0,4} = 11,45 \text{ мм.}$$

Согласно ГОСТ 403-73 для контактов с накладками из металлокерамических композиций на базе серебра с окисью кадмия допустимая температура $T_{\text{д}} = 200^{\circ}\text{C}$. Данная температура ограничивается максимально допустимыми температурами смежных частей. Принимаем $T_{\text{дон}} = 120^{\circ}\text{C}$, так как контакты расположены близко друг к другу.

При протекании тока через замкнутые контакты и вследствие воздействия дуги при коммутациях тока контакты нагреваются, а переходное сопротивление увеличивается из-за роста удельного сопротивления материала контактов. Определяем удельное сопротивление [2, с.103, формула 5-15]

$$\rho = \rho_{20} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha (T_{\text{дон}} - 20)\right) = 1,84 \cdot 10^{-8} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0043 (120 - 20)\right) = 2,236 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Сила контактного нажатия должна быть достаточна не только в рабочем режиме, но и при кратковременных сверхтоках – пусковых,

перегрузочных и короткого замыкания, чтобы не было отбросов контактов вследствие электродинамических сил и не было их сваривания вследствие дугообразования при отбросах и вибрации.

Определяем конечное контактное нажатие согласно [2, с. 105, формула 5-16]

$$F_K = f_K \cdot I_H = (7 \div 15) \cdot I_H = 175 \div 375 \text{ гс} = 0,257 \div 0,551 \text{ Н},$$

где f_K – удельное нажатие, для электромагнитных пускателей с накладками из металлокерамики, составляет $f_K = (7 \div 15)$ гс/А [2, с. 104, табл. 5-7].

Принимаем окончательное значение $F_K = 0,5$ Н.

Согласно рекомендациям, представленным в [2, с. 106] величина начального нажатия контактов принимается равной 0,4-0,75 от величины конечного нажатия.

Принимаем $F_{KH} = 0,75 F_K = 0,75(0,257 \div 0,551) = (0,193 \div 0,413)$ Н = 0,4 Н.
(47)

При силе контактного нажатия 0,1÷0,15 Н до сотен ньютонов имеет место упругая деформация слоя металла [2, с. 98]. При данном виде деформации материала радиус контактной площадки определяется по следующей зависимости [2, с. 99, формула 5-10]

$$a = 1,11 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_K \cdot R_{закр}}{E \cdot n}} = 1,11 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,5 \cdot 0,0052}{13 \cdot 10^{10} \cdot 1}} = 3,013 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Для проверки вида деформации определяем механическое напряжение для конечного нажатия

$$P = \frac{F_K}{\pi \cdot a^2} = \frac{0,5}{3,14 \cdot (3,013 \cdot 10^{-5})^2} = 1,754 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2.$$

$$G_C = \frac{4 \cdot F_K}{\pi \cdot a^2} = \frac{4 \cdot 0,5}{3,14 \cdot (3,013 \cdot 10^{-5})^2} = 7,016 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2.$$

$P < P_{CM}$ – упругая деформация, значит радиус контактной площадки найден верно.

Определим переходное сопротивление коммутирующих контактов.

Переходное сопротивление коммутирующих контактов, определяется по теоретическим зависимостям. Зависимость переходного сопротивления стягивания (сужения) имеет вид [2, с. 98, формула 98]

$$R_{CT} = \frac{\rho}{2 \cdot a \cdot n} = \frac{2,156 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 3,013 \cdot 10^{-5} \cdot 1} = 3,578 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Переходное сопротивление коммутируемых контактов, определяемое по формуле, основывающейся на опытных данных [1, с. 38, формула 1.56]

$$R_{ПР} = \frac{k_{ПХ}}{(0,1 \cdot F_K)^m} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot (T_{дон} - 20) \right) =$$

$$= \frac{(0,2 \div 0,3) \cdot 10^{-3}}{(0,1 \cdot 0,5)^{0,5}} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0043(120 - 20) \right) = (11,51 \div 17,26) \cdot 10^{-4} \text{ Ом,}$$

где $k_{ПХ}$ – коэффициент, учитывающий материал и состояние контактных поверхностей, для металлокерамики [2, с. 99] $k_{ПХ} = (0,2 \div 0,3) \cdot 10^{-3}$;

m – коэффициент формы контактной поверхности, для точечного контакта [2, с. 99] $m = 0,5$.

Принимаем значение переходного сопротивления $R_{ПР} = 17,26 \cdot 10^{-4}$ Ом.

Рассчитываем напряжение на контакте.

Падение напряжения на замкнутых коммутирующих контактах в токоведущем контуре аппарата складывается, в основном, из переходного сопротивления коммутирующих контактов. Определяем падение напряжения согласно [2, с. 106, формула 5-17]

$$U_K = I_K \cdot R_{ПР} = 25 \cdot 17,26 \cdot 10^{-4} = 43,15 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

В аппаратах управления низкого напряжения, при контактах в воздухе рассчитанное падение напряжение должно находиться в следующих пределах до 2–50 мВ [2, с. 108]. Данное условие в расчете выполняется.

2.1 Тепловой расчет

Рассчитываем температуру коммутирующего контакта [2, с. 95, формула 5-1]

$$T_{КК} = \Delta T_{КК} + T_P + T_{Ш} + T_{ОКР.СР}$$

Величина падения напряжения в контакте связана с превышением температуры контактной площадки над температурой контакта зависимостью [2, с. 106, формула 5-18]

Рассчитываем превышение температуры контактной площадки над температурой контакта

$$\Delta T_{кх} = \frac{U_k^2}{8 \cdot \lambda \cdot \rho} = \frac{(28 \cdot 10^{-3})^2}{8 \cdot 325 \cdot 3,54 \cdot 10^{-8}} = 8,518^\circ \text{C}.$$

Полученный результат находится в пределах допустимых значений (5-10) °С.

$$T_p = \frac{P_k}{2\sqrt{\lambda \cdot S \cdot \Pi \cdot K_{ТО}}} = \frac{1,079}{2\sqrt{325 \cdot 5,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,014 \cdot 9,1}} = 36,08^\circ \text{C},$$

Коммутируемая мощность:

$$P_k = I_H^2 R_{IP} = 25^2 \cdot 11,1 \cdot 10^{-4} = 0,694 \text{ Вт}.$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$K_{ТО} = 0,92 \times 10^{-3} \times (1 + 1 \times 10^4 (Q - Q_{ос})) = \\ = 0,92 \times 10^{-3} \times (1 + 1 \times 10^2 (120 - 40)) = 9,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{град}}.$$

Таким образом температура коммутирующего контакта равна

$$T_k = \Delta T_{кх} + T_p + \tau + T_{окр.ср} = 19,166 + 36,08 + 47,3 + 40 = 142,546^\circ \text{C}.$$

Так как шина выбрана по номинальной стойкости ее температура незначительно меньше допустимой. Поэтому температура коммутирующего контакта тоже незначительно меньше принятого допустимого значения.

При протекании значительно больших номинальных токов через коммутирующие контакты, происходит повышенное нагревание и как результат их сваривание. Если отключаемый механизм способен разомкнуть сварившиеся контакты, то сваривание контактов может и не привести к выходу аппарата из строя.

Критериями оценки являются два параметра, это начальный ток сваривания контактов и сила, необходимая для отрыва сварившихся контактов.

Определяем ток сваривания контактов.

Определяем ток сваривания методом, устанавливающим зависимость между падением напряжения в контактах и установившейся температурой контактной напайки:

$$I_{CB} = A \cdot \sqrt{f_{k,пл}} \cdot \sqrt{F_k} = 307,409 \cdot \sqrt{2,5} \cdot \sqrt{0,5} = 343,694 A,$$

где $f_{k,пл}$ – коэффициент, характеризующий увеличение контактной площадки в процессе нагревания, зависит от силы нажатия и от продолжительности импульса находится в пределах $2 \div 4$ [2, с. 112].

Принимаем $f_{k,пл} = 2,5$;

A – постоянная для каждого материала величина,

$$A = \sqrt{\frac{32 \cdot \lambda \cdot T_{пл} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \alpha \cdot T_{пл}\right)}{\pi \cdot H_B \cdot \rho \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot T_{пл}\right)}} = \sqrt{\frac{32 \cdot 325 \cdot 960 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,0036 \cdot 960\right)}{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^8 \cdot 3,54 \cdot 10^{-8} \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0036 \cdot 960\right)}} = 236,$$

где $T_{пл}$ – температура плавления материала контакта. Для контактов на основе серебра $T_{пл} = 960$ °С [2, с. 107, табл. 5-8].

Другой метод, приводящий к удовлетворительному совпадению расчетного значения с экспериментом, для маломощных одноточечных серебряных контактов дает зависимость представленная в [2, с. 112, формула 5-24]

$$I_{CB} = \frac{2 \cdot U_{пл} \cdot \sqrt{F_k}}{\rho \cdot \sqrt{\pi \cdot H_B}} = \frac{2 \cdot 0,37 \sqrt{0,5}}{3,54 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^8}} = 257,427 A,$$

где $U_{пл}$ – напряжение плавления металла контактов. Для контактов на основе

Ожидаемые по расчетам токи сваривания превышают ток короткого замыкания, это означает, что контакты «проходят» расчет на термическую стойкость.

2.2 Динамическая стойкость

Проверим силу отброса контактов. Электродинамическая сила, вызывающая отталкивание контактов, возникает вследствие сужения линий

тока в контакт – детали при подходе его к месту контактирования. Согласно [1, с. 40, формула 1-61]

$$F = 10^{-7} (I_{кз})^2 \cdot \ln(D / d) = 10^{-7} \cdot 250^2 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 10^{-3}}{0,6 \cdot 10^{-3}}\right) = 0,012.$$

Для надежной работы аппарата необходимо чтобы выполнялось условие, F не превышало (10-20)% от значения F_K

$$F = (10 \div 20)\% \cdot F_K = 0,05 \div 0,10 \text{ Н.}$$

Данное условие выполняется.

Контакты не будут самопроизвольно расходиться под действием электродинамических сил, так как принятая сила контактного нажатия больше силы электродинамического отталкивания в контактах.

3. РАСЧЕТ ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

При размыкании электрических цепей с помощью контактов электрических аппаратов как правило на них возникает дуговой разряд, при условии, что величина тока и напряжения превосходит некоторые критические значения. Эти критические значения зависят от ряда факторов: материала контактов, параметров цепи, свойств среды и др.

Электрическая дуга может привести к очень серьезным последствиям. Например, после повреждения контактов подключенный электропривод может в следующий раз попросту не запуститься, а это уже нарушит весь технологический процесс предприятия, ведь это оборудование должно питать энергией какие-либо станки и т.п. Во время размыкания электрооборудования уменьшается контактная поверхность и из-за этого резко увеличивается переходное сопротивление, температура и плотность тока. В итоге из-за повышенной температуры электроны начинают двигаться с огромной скоростью, что заставляет их «вылетать» с поверхности контактных элементов.

Раствор контактов при гашении дуги переменного тока аппаратов низкого напряжения не имеет обычно такого решающего значения, как при постоянном токе. Однако при большом растворе и более длинной дуге без

необходимости увеличивается выделяемая в ней энергия. Малые растворы контактов также применять нельзя, с целью предотвращения повторного включения контактов после отброса контактной системы от упора при отключении, а также возможность образования при отключении тока между контактами перемычки из расплавленного металла.

При выборе значения раствора руководствуются опытными данными, полученными при однократном разрыве цепи тока при отсутствии магнитного гашения при свободной открытой дуге. Согласно выбранному прототипу принимаем раствор контактов 4 мм.

Основным способом гашения дуги переменного тока до (220 – 380) В, (50 – 500) Гц является двукратный разрыв цепи. Определяющими факторами являются начальная восстанавливающая прочность ($U_{ВП}^0$) околоскатной зоны и число разрывов цепи тока (n). Двукратный разрыв обеспечивается мостиковым контактом (рисунок 7).

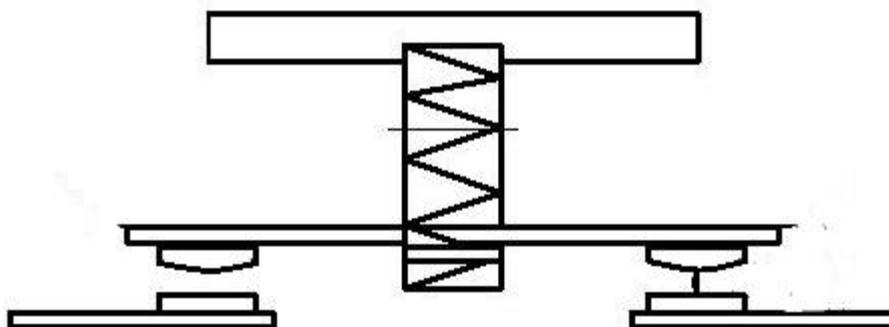


Рисунок 7 – мостиковый контакт в разомкнутом состоянии (форма контактных напаяек упрощена)

Переходный процесс восстановления напряжения может быть колебательным или апериодическим. При апериодическом процессе восстанавливающее напряжение U_B не может быть больше амплитудного значения $U_{отк}$ напряжения отключаемого источника питания. При колебательном процессе U_B практически не превышает $2 U_{отк}$.

Для пускателей по ГОСТ 11206-65 [2, с. 132] предельный отключаемый ток цепей переменного тока $I_{\text{пред.отк.}} = 10 \cdot I_H = 10 \cdot 25 = 250 \text{ А}$.

Величину начальной восстанавливающейся прочности принимаем $U_{\text{в.п.}}^0 = 165 \text{ В}$ [1, с. 100, рис. 3-23].

По кривым, представленным в [1, с. 46, рис. 1-21] берем предельно возможную собственную частоту. По величине отключаемого тока определяем собственную частоту отключаемой цепи, которая имеет значение $f_0 = 50 \text{ кГц}$.

Скорость роста прочности определяем по [1, с. 100, рис. 3-23] по величине тока отключения $K_{\text{п}} = 90 \text{ В/мкс}$.

Для дугогасительных устройств со свободной дугой коэффициент амплитуды определяем по [1, с. 114, формула 3-32]

$$K_a = 1 + e^{-0,0003 \cdot f_0} = 1 + e^{-0,0003 \cdot 30000} \cong 1.$$

Определяем удельную величину эквивалентного сопротивления дуги [2, с. 170, формула 6-40]

$$R_{\text{д}}^0 = 0,015 + \frac{14200}{I_{\text{отк}}^2} = 0,015 + \frac{14200}{285^2} = 0,19 \text{ Ом/см.}$$

Индуктивность отключаемой цепи определяем по [2, с. 167, формула 6-32]

$$L = \frac{U_H}{I_{\text{от}} \cdot \omega} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} = \frac{220}{285 \cdot 314} \sqrt{1 - 0,87^2} = 1,212 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (67)$$

Определяем длину дуги на один разрыв для токов (80÷100) А по [2, с. 170, формула 6-37]

$$l_{\text{д}}^0 = \sqrt{\delta_K^2 + \frac{40,5 \cdot I_{\text{отк}}^2 \cdot t^2}{\delta_K}} = \sqrt{4^2 + \frac{40,5 \cdot 285^2 \cdot 0,008^2}{4}} = 7,196 \text{ мм,} \quad (68)$$

где t – время гашения дуги, принимают [1, с. 122] меньше одного полупериода тока $t = 0,008 \text{ с}$, чтобы обеспечить гарантированное гашение дуги в момент первого перехода тока через нулевое значение.

Рассчитываем число разрывов при апериодическом процессе по [1, с. 117, формула 3-40]

$$n \geq \frac{K_H U_H - \left(\frac{\beta_K \cdot K_{II} \cdot L}{M_0} \right) \left(1 + \ln \frac{K_H U_H M_0}{\beta_K K_{II} \cdot L} \right)}{U_{ВП}^0 + 0,34 \cdot K_H \cdot I_D^0 \cdot R_D^0 \cdot I_{отк}} =$$

$$= \frac{0,61 \cdot 380 - \left(\frac{6 \cdot 0,9 \cdot 1,212 \cdot 10^{-3}}{310 \cdot 10^{-6}} \right) \left(1 + \ln \frac{0,61 \cdot 380 \cdot 310 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 0,9 \cdot 1,212 \cdot 10^{-3}} \right)}{165 + 0,34 \cdot 0,61 \cdot 7,196 \cdot 0,09 \cdot 285} = 0,651 \approx 1,$$

где k_H – коэффициент, определяемый по [2, с. 171, формула 6-43]

$$k_H = 0,9 \cdot k_{CX} \sqrt{1 - \cos \phi} = 0,9 \cdot 1,5 \sqrt{1 - 0,8} = 0,61,$$

где k_{CX} – коэффициент схемы, который определяется схемой отключаемой цепи и отключающего аппарата. По [2, с. 164] для отключения трехфазной цепи трехполюсным аппаратом $k_{CX} = 1,5$;

M_0 – функция отключаемого тока, определяем по [1, с. 117, рис. 3-36а]. При $I_{отк} = 285$ А, $M_0 = 310 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \frac{\text{Гн}}{\text{мкс}} \cdot \text{В}$;

β_K – коэффициент, учитывающий влияние контактного материала на скорость восстановления прочности. По [1, с. 116, табл. 3-4] для контактов из серебра при частоте источника питания 50 Гц, $\beta_K = 6$.

Полученное значение количества контактов является значительно меньшим, чем используется в магнитном пускателе, то есть дуга при $n = 2$ будет гаситься.

Проверяем по [1, с. 117, формула 3-41] условие перехода колебательного процесса восстановления напряжения в апериодический

$$f_0 = 30000 \geq M_0 \cdot n_a \cdot 10^6 / (\pi \cdot L) = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^6 / 3,14 \cdot 4,379 \cdot 10^{-3} = 22550 \text{ Гц.}$$

Условие выполняется. Таким образом в данном случае наблюдается апериодический процесс восстановления напряжения и два разрыва на полюс аппарата достаточно для гашения дуги в воздухе.

4. РАСЧЕТ МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И НАДЕЖНОСТИ КОНТАКТОВ

Рассмотрим 3 основных сплава (AgNi, AgCdo, Wag) для контактной группы [16, с.256, таблица 2] и выберем наиболее лучший по показателям массы и надежности.

Рассчитаем объем пары контактов

$$V = V_1 + V_2 = 14,4 + 7,5 = 21,9 \text{ мм}^3, \text{ где}$$

$$V_1 = a \cdot b \cdot \Delta h = 6 \cdot 6 \cdot 0,4 = 14,4 \text{ мм}^3 - \text{объем неподвижного контакта.}$$

$$V_2 = \left(\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \Delta h\right) / 2 = \left(\frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 0,4\right) / 2 = 7,5 \text{ мм}^3 - \text{объем подвижного}$$

контакта.

Рассчитаем массу контактов из AgNi

$$m = \rho \cdot V = 9,7 \cdot 0,0219 = 0,219 \text{ г}, \text{ где } \rho - \text{плотность сплава AgNi [2, с. 86, табл. 5-3] } \rho = 9,7 \text{ г/см}^3$$

Определим надежность контактов из AgNi(60%-40%)

$$N = \frac{V_{\text{изн}}}{v_{\text{pz}} + v_{\text{zm}}} = \frac{0,219 \cdot 0,75}{1,8 \cdot 10^{-6} + 1,2 \cdot 10^{-6}} = 54750$$

$$V_{\text{изн}} = 0,75 \cdot V - \text{часть объема пары, который будет подвергаться износу.}$$

$$v_{\text{pz}} = (\gamma_{\text{к}} + \gamma_{\text{арз}}) \cdot q_{\text{pz}} = (0,6 \cdot 10^{-6} + 1,2 \cdot 10^{-6}) \cdot 1 = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 - \text{объем перенесенного металла с катода на анод за 1 размыкание [2, с. 123, формула 5-39].}$$

$$v_{\text{zm}} = \gamma_{\text{азм}} \cdot q_{\text{zm}} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 0,06 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 - \text{объем перенесенного металла с катода на анод за 1 замыкание [2, с. 123, формула 5-39].}$$

$$q_{\text{zm}} = t \cdot I_{\text{от}} \cdot 0,3 = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 250 \cdot 0,3 = 0,06 \text{ Кл} - \text{количество электричества, выделяющееся за 1 включение.}$$

$$q_{\text{pz}} = \frac{1}{2} \cdot I_{\text{от}} \cdot t_{\text{д}} = \frac{1}{2} \cdot 250 \cdot 0,008 = 1 \text{ Кл} - \text{количество электричества, выделяющееся за 1 включение.}$$

$\gamma_{\text{азм}}, \gamma_{\text{арз}}, \gamma_{\text{к}}$ - удельные значения износа металла анода и катода при одном замыкании и размыкании, $\text{см}^3 / \text{Кл}$ [2, с. 123, табл. 5-10]

Для AgNi:

$$\gamma_{азм} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 / \text{ Кл}$$

$$\gamma_{арз} = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 / \text{ Кл}$$

$$\gamma_{к} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 / \text{ Кл}$$

Рассчитаем массу контактов из AgCdO

$m = \rho \cdot V = 10,1 \cdot 0,0219 = 0,297 \text{ г}$, где ρ - плотность сплава AgCdO [2, с. 86, табл. 5-3] $\rho = 10,1 \text{ г} / \text{ см}^3$

Определим надежность контактов из AgCdO

$$N = \frac{V_{изн}}{v_{рз} + v_{зм}} = \frac{0,219 \cdot 0,75}{1,8 \cdot 10^{-8} + 0,7 \cdot 10^{-6}} = 228800$$

$V_{изн} = 0,75 \cdot V$ - часть объема пары, который будет подвергаться износу.

$v_{рз} = (\gamma_{к} + \gamma_{арз}) \cdot q_{рз} = (0,5 \cdot 10^{-6} + 0,2 \cdot 10^{-6}) \cdot 1 = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3$ - объем перенесенного металла с катода на анод за 1 размыкание [2, с. 123, формула 5-39].

$v_{зм} = \gamma_{азм} \cdot q_{зм} = 0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,06 = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3$ - объем перенесенного металла с катода на анод за 1 замыкание [2, с. 123, формула 5-39].

$q_{зм} = t \cdot I_{ом} \cdot 0,3 = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 250 \cdot 0,3 = 0,06 \text{ Кл}$ - количество электричества, выделяющееся за 1 включение.

Рассчитаем массу контактов из WAg

$m = \rho \cdot V = 19,25 \cdot 0,0219 = 0,422 \text{ г}$, где ρ - плотность сплава WAg [2, с. 86, табл. 5-3] $\rho = 19,25 \text{ г} / \text{ см}^3$

Определим надежность контактов из WAg

$$N = \frac{V_{изн}}{v_{рз} + v_{зм}} = \frac{0,219 \cdot 0,75}{0,49 \cdot 10^{-6} + 2,16 \cdot 10^{-7}} = 232600$$

$V_{изн} = 0,75 \cdot V$ - часть объема пары, который будет подвергаться износу.

$v_{рз} = (\gamma_{к} + \gamma_{арз}) \cdot q_{рз} = (0,04 \cdot 10^{-6} + 0,45 \cdot 10^{-6}) \cdot 1 = 0,49 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3$ - объем перенесенного металла с катода на анод за 1 размыкание [2, с. 123, формула 5-39].

$v_{зм} = \gamma_{азм} \cdot q_{зм} = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,06 = 2,16 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3$ - объем перенесенного металла с катода на анод за 1 замыкание [2, с. 123, формула 5-39].

$q_{зм} = t \cdot I_{от} \cdot 0,3 = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 250 \cdot 0,3 = 0,06 \text{ Кл}$ - количество электричества, выделяющееся за 1 включение.

$q_{рз} = \frac{1}{2} \cdot I_{от} \cdot t_{д} = \frac{1}{2} \cdot 250 \cdot 0,008 = 1 \text{ Кл}$ - количество электричества, выделяющееся за 1 включение.

$\gamma_{зм}$, $\gamma_{рз}$, $\gamma_{к}$ - удельные значения износа металла анода и катода при одном замыкании и размыкании, $\text{см}^3 / \text{Кл}$ [2, с. 123, табл. 5-10]

Для WAg:

$$\gamma_{зм} = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 / \text{Кл}$$

$$\gamma_{рз} = 0,45 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 / \text{Кл}$$

$$\gamma_{к} = 0,04 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 / \text{Кл}$$

После сравнения 3 сплавов был выбран сплав AgCdO, так как его масса не сильно отличалась от наименьшей, а надежность контактов практически равна надежности контактов из WAg.

5. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для расчета механической характеристики используем методику, изложенную в [2].

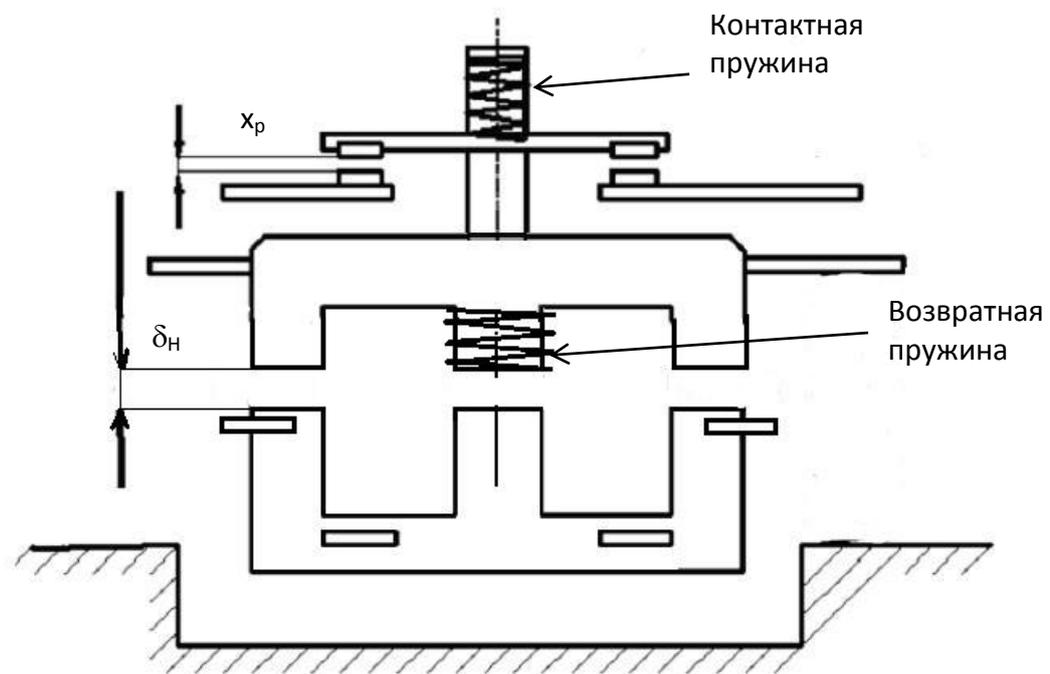


Рисунок 8 – система прямоходового типа

Противодействующие усилия создаются возвратной пружиной и контактными пружинами. В зависимости от установки пускателя на монтажной панели, на противоположные усилия может оказывать вес подвижных частей (якоря, траверсы и других деталей). Если пускатель устанавливается якорем вверх, то вес подвижных частей будет действовать в ту же сторону, что и тяговые усилия. Если пускатель устанавливается якорем вниз, то вес подвижных частей действует в противоположную сторону по отношению к тяговому усилию. В первом случае вес подвижных частей следует вычитать из суммарного противодействующего усилия. Во втором случае необходимо суммировать. В том случае, когда пускатель установлен на вертикальной динрейке вес подвижных частей не оказывает влияния на противодействующие усилия.

5.1 Выбор вида пружины и ее материала

Практически каждый электрический аппарат имеет одну или несколько пружин. Так в нашем случае пускатель имеет одну контактную пружину и две возвратных. Значительное число пружин электрических аппаратов, выполняя ответственную роль, определяют основные характеристики аппаратов, поэтому их расчет имеет большое значение.

Из всех видов выпускаемых сегодня пружин наиболее часто применяются цилиндрические витые и пластинчатые холодноштампованные пружины.

Согласно выбранному прототипу принимаем витые цилиндрические пружины, работающие на сжатие, с прижатыми витками (рисунок 9).

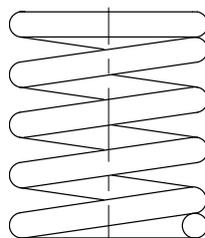


Рисунок 9 – витая цилиндрическая пружина, работающая на сжатие с прижатыми (пассивными) витками

Расчет пружины производится на основании теории деформации винтовой пружины, навитой из проволоки или прутка круглого сечения и воспринимающей осевую сжимающую нагрузку.

Исходными величинами при расчете являются: сила контактного нажатия и необходимый прогиб.

Раствор и провал контакта примем с прототипа, тогда раствор контактов $x_P = 4$ мм, провал контактов $x_{II} = 4$ мм.

Определим суммарный ход якоря:

$$\delta_H = x_{\Sigma} = x_P + x_{II} = 4 + 4 = 8 \text{ мм.}$$

Силы контактного нажатия.

Из расчета коммутирующего контакта примем значения начального и конечного контактного нажатия:

$F_{KK} = 0,5$ Н – сила конечного нажатия,

$F_{KH} = 0,4$ Н – сила начального нажатия.

Определяем силу давления на упор:

$$F_y = f_y \cdot I_H = 0,15 \cdot 25 = 3,75 \text{ Н.}$$

где f_y – удельное давление на 1 А, для пускателя $f_y = (0,1 \div 0,15)$ Н/А, примем $f_y = 0,15$ Н/А.

Рассчитываем усилия контактов с учетом вида и числа контактов:

$$\Sigma F_{KH} = n \cdot N \cdot F_{KH} = 3 \cdot 2 \cdot 0,4 = 2,4,$$

$$\Sigma F_{KK} = n \cdot N \cdot F_{KK} = 3 \cdot 2 \cdot 0,5 = 3,$$

где n – число контактов главной цепи для проектируемого аппарата $n=3$,

N – поправка на вид контактов. Контактное нажатие необходимо учитывать на каждый контакт, так как используем мостиковый контакт $N=2$.

5.2 Расчет параметров возвратной пружины

Принимаем материал для пружины – сталь качественная рессорно-пружинная в прутках, ГОСТ 2052-53, круглая, горячей навивки, марка 65Г.

Основные свойства материала [2, с. 474, табл. 22-5]:

Прочность при растяжении $\sigma_{пр.р.} = 1000$ Н/мм²;

допустимый предел выносливости при изгибе $\sigma_{д.и.} = 450 \text{ Н/мм}^2$;

допустимый предел выносливости при кручении $\sigma_{д.кр.} = 350 \text{ Н/мм}^2$;

модуль упругости $E=200000 \text{ Н/мм}^2$;

модуль сдвига $G=80000 \text{ Н/мм}^2$.

Рассчитываем начальную силу возвратной пружины в отпущенном состоянии

$$F_{BH} = F_y = 3,75.$$

Тогда конечная сила возвратной пружины :

$$F'_{BK} = (1,15 \div 1,5) \cdot F_{BH} = (1,15 \div 1,5) \cdot 3,75 = (4,313 \div 5,625).$$

Принимаем $F_{BK} = 5,5 \text{ Н}$.

Рассчитываем предварительное значение жесткости пружины j , т.е. силу, которую развивает пружина на 1 мм прогиба. Согласно [2, с. 479, формула 22-29] жесткость пружины равна

$$j = \frac{F_{BK} - F_{BH}}{x_{\Sigma}} = \frac{5,5 - 3,75}{8} = 0,219 \text{ Н/мм}.$$

Определяем максимальную силу пружины при полном сжатии

$$F_m = \frac{F_{BK}}{1 - \alpha} = \frac{5,5}{1 - 0,05} = 5,789 \text{ Н},$$

где α – относительный инерционный зазор, для пружин $\alpha=(0,05 \div 0,20)$, принимаем $\alpha = 0,05$.

Максимальная деформация возвратной пружины

$$f_M = \frac{F_m}{j} = \frac{5,789}{0,123} = 47,065 \text{ мм}.$$

Определяем средний диаметр пружины

$$D = \frac{f_M}{2 \div 4} = \frac{47,065}{2 \div 4} = 23,532 \div 11,766 \text{ мм}.$$

Предварительно принимаем $D = 20 \text{ мм}$.

Диаметр проволоки определяем по формуле [2, с. 479, формула 22-24]

$$d = 2 \sqrt[3]{\frac{F_m \cdot D}{\pi \cdot \sigma_{д.кр.}}} = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{5,789 \cdot 20}{3,14 \cdot 350}} = 0,945 \text{ мм},$$

согласно стандартному ряду значений, принимаем $d = 1$ мм.

Определяем индекс пружины [2, с. 478]. Индекс пружины, c – это параметр, который характеризует кривизну витка, определяющую концентрацию напряжений в материале пружины.

$$c = \frac{D}{d} = \frac{20}{1} = 20.$$

Рассчитываем число витков согласно [2, с. 479, формула 22-25]

$$n = \frac{G \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot j} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 1}{8 \cdot 20^3 \cdot 0,123} = 10,163.$$

Производим контрольный расчет. Определяем величину напряжения кручения при действии силы, принятых размерах и числе витков по [2, с. 478, формула 22-21] и сравниваем с допустимым

$$\sigma_{кр} = \frac{8 \cdot F_m \cdot c}{\pi \cdot d^2} = \frac{8 \cdot 5,579 \cdot 20}{3,14 \cdot 1^2} = 294,981 \text{ Н/мм}^2.$$

Полученное значение является меньше допустимого $\sigma_{кр} < \sigma_{д.кр.}$. То есть расчет произведен верно.

Определяем параметры пружины.

Жесткость возвратной пружины согласно [2, с. 479, формула 22-29] также определяется как:

$$j = \frac{G \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot n} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 1}{8 \cdot 20^3 \cdot 10} = 0,125 \text{ Н/мм}.$$

Минимальная длина пружины: $l_{B(\min)} = d(n+1,5) = 1(10+1,5) = 11,5$ мм.

$$\text{Свободная длина: } l_{B(0)} = l_{B(\min)} + \frac{F_m}{j} = 11,5 + \frac{5,579}{0,117} = 59,184 \text{ мм}.$$

$$\text{Шаг навивки: } t = \frac{l_{B(0)} - l_{B(\min)}}{n} + \alpha = \frac{59,184 - 11,5}{10} + 0,05 = 4,818 \text{ мм}.$$

Сила при отпущенном якорь: $F_{BH} = 0,45$ Н – неизменна.

Длина при отпущенном якорь:

$$l_{B.от.} = l_{B(0)} - \frac{F_{B.H.}}{j} = 59,184 - \frac{3,75}{0,117} = 27,133 \text{ мм}.$$

Тогда при притяннутом якорь длина пружины равна

$$l_{B.пр.} = l_{B.от.} - \Delta l_B = 27,133 - 8 = 19,133 \text{ мм},$$

где Δl_B – рабочая деформация пружины, равна суммарному ходу якоря x_Σ .

Уточним силу при притяннутом якоре:

$$F_{BK} = (l_{B(0)} - l_{B.пр.}) \cdot j = (59,184 - 19,133) \cdot 0,117 = 4,686 \text{ Н}$$

5.3 Расчет контактной пружины

Материал контактной пружины принимаем аналогичный материалу возвратной пружины – сталь качественная рессорно-пружинная в прутках, ГОСТ 2052-53, круглая, горячей навивки, марка 65Г.

Контактная пружина работает на величине провала контактов. Рабочая деформация $\Delta l = x_{II} = 4$ мм.

С учетом формы контактов принимаем

$$F_{KH} = 2 \cdot F_K = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ Н}, \quad F_{KK} = 2 \cdot F_K = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ Н}.$$

Рассчитываем предварительное значение жесткости пружины

$$j = \frac{F_{KK} - F_{KH}}{x_{II}} = \frac{1 - 0,8}{4} = 0,05 \text{ Н/мм}.$$

Определяем максимальную силу пружины при полном сжатии

$$F_m = \frac{F_{KK}}{1 - \alpha} = \frac{1}{1 - 0,2} = 1,25 \text{ Н},$$

где α – относительный инерционный зазор, для пружин $\alpha = (0,05 \div 0,20)$, принимаем $\alpha = 0,2$ мм.

Максимальная деформация контактной пружины

$$f_M = \frac{F_m}{j} = \frac{1,25}{0,117} = 10,684 \text{ мм}.$$

Определяем средний диаметр пружины

$$D = \frac{f_M}{2 \div 4} = \frac{10,684}{2 \div 4} = 5,342 \div 2,671 \text{ мм}.$$

Принимаем значение среднего диаметра $D = 5$ мм.

Диаметр прутка

$$d = 2 \sqrt[3]{\frac{F_m \cdot D}{\pi \cdot \sigma_{д.кр.}}} = 2 \sqrt[3]{\frac{1,25 \cdot 5}{3,14 \cdot 350}} = 0,357 \text{ мм},$$

принимая из стандартного ряда значений $d = 0,4$ мм.

Определяем индекс пружины [2, с. 478]

$$c = \frac{D}{d} = \frac{5}{0,4} = 12,5.$$

Рассчитываем число витков согласно [2, с. 479, формула 22-25].

$$n = \frac{G \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot j} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 0,4}{8 \cdot 6^3 \cdot 0,6} = 30,864$$

Производим контрольный расчет. Определяем величину напряжения кручения при действии силы, принятых размерах и числе витков по [2, с. 478, формула 22-21] и сравниваем с допустимым

$$n = \frac{G \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot j} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 0,4}{8 \cdot 13,5^3 \cdot 0,117} = 13,895 \approx 14 \text{ Н/мм}^2.$$

Полученное значение является меньше допустимого $\sigma_{\text{КР}} < \sigma_{\text{Д.КР.}}$.

Определяем параметры пружины.

Жесткость возвратной пружины согласно [2, с. 479, формула 22-29]

также определяется как

$$j = \frac{G \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot n} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 0,4}{8 \cdot 13,5^3 \cdot 14} = 0,116 \text{ Н/мм.}$$

Минимальная длина пружины: $l_{\text{К}(\text{min})} = d(n + 1,5) = 0,4(13,5 + 1,5) = 6$ мм.

Свободная длина: $l_{\text{К}(0)} = l_{\text{К}(\text{min})} + \frac{F_m}{j} = 6 + \frac{1,25}{0,116} = 16,776$ мм.

Шаг навивки: $t = \frac{l_{\text{К}(0)} - l_{\text{К}(\text{min})}}{n} + \alpha = \frac{16,675 - 6}{13,5} + 0,2 = 0,991$ мм.

Сила при отпущенном якоре: $F_{\text{КН}} = 0,8$ Н – неизменна.

Длина при отпущенном якоре:

$$l_{\text{К.от.}} = l_{\text{К}(0)} - \frac{F_{\text{К.Н.}}}{j} = 16,676 - \frac{0,8}{0,116} = 9,779 \text{ мм.}$$

Тогда длина пружины при притянutom якоре равна

$$l_{\text{К.пр.}} = l_{\text{К.от.}} - \Delta l_{\text{К}} = 9,779 - 4 = 5,779 \text{ мм,}$$

где $\Delta l_{\text{К}}$ – рабочая деформация пружины, равна провалу контактов $x_{\text{П}}$.

Уточним силу при притянutom якоре

$$F_{\text{КК}} = (l_{\text{К}(0)} - l_{\text{К.пр.}}) \cdot j = (9,779 - 5,779) \cdot 0,9 = 3,6 \text{ Н.}$$

Определяем суммарные усилия создаваемые контактными пружинами

в цепи главных контактов:

$$F_{К.Н.} = 3F_{К.Н.} = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ Н},$$

$$F_{КК.} = 3F_{К.К.} = 3 \cdot 1 = 3 \text{ Н}.$$

Механическая характеристика представлена на рисунке 11.

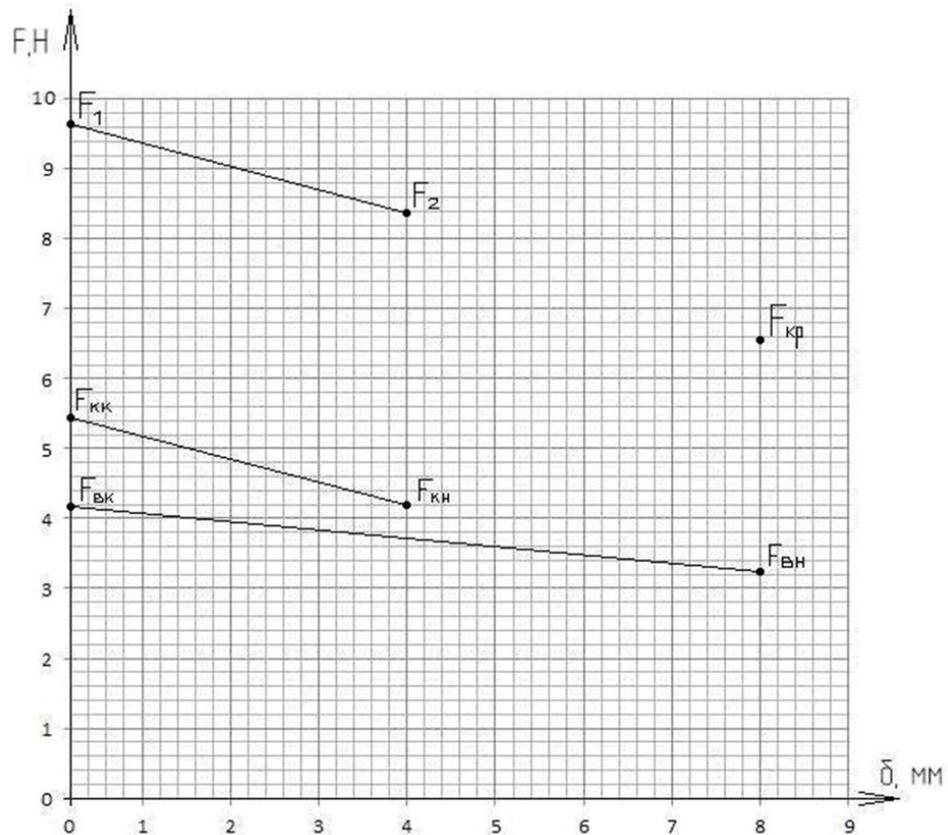


Рисунок 10 – механическая характеристика

Определяем критическую точку:

$$1) F_1 \cdot \delta^2 = (F_{кк} + F_{вк}) \cdot \alpha^2 = (2,4 + 3) \cdot 0,2^2 = 0,216 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2,$$

$$2) F_2 \cdot \delta^2 = 8,397 \cdot 4^2 = 134,352 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2,$$

$$3) F_{вн} \cdot \delta^2 = 3,262 \cdot 8^2 = 208,768 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2,$$

Точка $F_{вн}$ является критической, производим приведение критической точки на начальный зазор.

Точка 3 является критической, производим приведение критической точки на начальный зазор.

$$F_{кр} = F_{вн} \cdot \frac{\delta_H}{\delta_{ПР}} = 1,8752 \cdot \frac{8}{4} = 3,75 \text{ Н}.$$

6. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ СЕРДЕЧНИКА И КАТУШКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Чтобы обеспечить надежность работы электромагнита критическая электромагнитная сила должна немного превышать соответствующую этому зазору противодействующую силу, т.е. $F_0 = k \cdot F_{\text{пр}}$. Исходя из опыта проектирования и эксплуатации электромагнитов, значение коэффициента запаса k для наиболее неблагоприятных условий эксплуатации пускателей рекомендуется [4, с. 12] принимать $k = 1,3$.

$$F_0 = k \cdot F_{\text{пр}} = 1,3 \cdot 3,75 = 4,875$$

Требования, которые предъявляются к электромагнитам в различных областях техники, привели к образованию большого разнообразия конструктивных форм и исполнений электромагнитов.

Широкое распространение нашли электромагниты с прямолинейным перемещением якоря. Такой вид электромагнитов целесообразно применять при большом ходе механизма и якоря.

Имеется метод выбора оптимальной конструктивной формы по геометрическому показателю, основанный на ряде выполненных расчетов и экспериментов по электромагнитам различных конструктивных форм.

Геометрический показатель для электромагнитов переменного тока определяется по [2, с. 256, формула 10-1]

$$\Gamma = \frac{\sqrt{2 \cdot F_0}}{\delta_H} = \frac{\sqrt{2 \cdot 4,875}}{8 \cdot 10^{-3}} = 390,3 \text{ Н}^{0,5}/\text{м}$$

Каждой конструктивной форме электромагнита, спроектированного оптимально по экономичности в отношении массы, соответствует определенный диапазон Γ , при котором удельный расход материала является наименьшим. Согласно [2, с. 257, табл. 10-2] для электромагнитов переменного тока при $\Gamma = 316 \div 25000 \text{ Н}^{0,5}/\text{м}$, целесообразно принимать электромагнит – шихтованный из штампованных пластин с прямоходовым Ш-образным якорем и броневого.

Для изготовления магнитопроводов применяют магнитомягкие низкоуглеродистые материалы. Для аппаратов переменного тока почти исключительно – кремнистые электротехнические стали. Принимаем магнитопровод выполненный из холоднокатаной листовой электротехнической стали марки Э310 толщиной 0,5 мм.

При предварительном расчете размеров сердечника магнитопровода величину индукции в рабочем воздушном зазоре при отпущенном якоре ориентировочно выбираем по величине геометрического показателя по графикам [2, с. 267, рис. 10-9]. Принимаем $B_{\delta} = 0,1$ Тл.

Для расчета площади используется уравнение электромагнитной силы Максвелла. Для электромагнитов переменного тока площадь сечения определяется по [2, с. 275, формула 10-7]

$$S = \frac{F_0}{19,9 \cdot 10^4 \cdot B_{\delta}} = \frac{4,875}{19,9 \cdot 10^4 \cdot 0,1} = 2,45 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Оптимальное соотношение сторон прямоугольного сечения сердечника для шихтованных магнитопроводов $a/b=1$ [2, с. 277], по условиям работы и изготовления катушки магнитопровода.

Таким образом, с учетом того, что согласно [2, с. 277, формула 10-12],

$$a_c = \frac{S}{k_{з.ст.}} = \sqrt{\frac{2,45 \cdot 10^{-4}}{0,95}} = 0,015$$

где $k_{з.ст.}$ – коэффициент заполнения сечения пакета сталью, учитывающий изоляционные слои окалины и лака; для листов толщиной 0,5 мм $k_{з.ст.} = 0,95$ [2, с. 277] получаем размеры сердечника равные $a = b = 15$ мм.

Определяем размеры катушки:

$$\text{Высота обмотки: } h_{об} = \eta \cdot a = 0,8 \cdot 15 = 12 \text{ мм, (122)}$$

где η – безразмерный коэффициент, $\eta = 0,5 \div 0,8$ [5, с. 161].

$$\text{Длина обмотки: } l_{об} = \xi \cdot h_{об} = 2,5 \cdot 12 = 30 \text{ мм,}$$

где ξ – безразмерный коэффициент $\xi = 1,5 \div 3$ [5, с. 162].

$$\text{Изоляционный зазор: } \Delta = \nu \cdot a = 0,2 \cdot 15 = 3 \text{ мм,}$$

принять $E=U$;

Φ_m – поток при притяннутом якоре

$$\Phi_m = B_m \cdot S_{СТ} = 1,8 \cdot 2,25 \cdot 10^{-4} = 4,05 \cdot 10^{-4} \text{ Вб},$$

где $S_{СТ}$ – площадь стали ,

$$S_{СТ} = a \cdot b = 0,015^2 = 2,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

B_m – допустимая индукция в стали,

$B_m = 1,8$ Тл, для выбранной стали рассчитанного сечения.

Намагничивающая сила катушки:

$$I_W = \frac{\Phi_m}{G_m} = \frac{4,05 \cdot 10^{-4}}{8,2 \cdot 10^{-8}} = 4939 \text{ А},$$

где G_m – суммарная проводимость магнитной цепи

$$G_m = \frac{G_{1P} \cdot G_{2P}}{G_{1P} + G_{2P}} = \frac{13,5 \cdot 10^{-8} \cdot 20,5 \cdot 10^{-8}}{13,5 \cdot 10^{-8} + 20,5 \cdot 10^{-8}} = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ Г}.$$

Так как величина E пока неизвестна, то, начиная со значения $E = U = 380$ В, рассчитываем параметры катушки в первом приближении, а затем уточнив величину E , уточним число витков катушки пока не будет выполнено условие

$$\left(w^{(K)} - w^{(K+1)} \right) / w^{(K)} \leq \varepsilon_{\text{доп}},$$

где $\varepsilon_{\text{доп}}$ – допустимая относительная погрешность расчета, которую принимаем $(0,03 \div 0,05)$.

Рассчитываем геометрические размеры катушки. В данном электрическом аппарате применяется каркасное исполнение катушки.

С целью уменьшения расхода активных материалов окно должно быть заполнено практически полностью с необходимыми зазорами $\Delta = (1 \div 2)$ мм.

Принимаем $\Delta = 1$ мм.

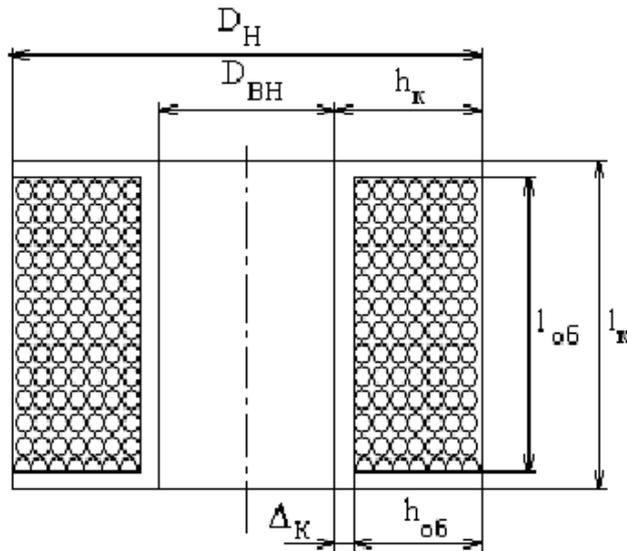


Рисунок 12 – эскиз катушки

Δ_K – толщина каркаса, принимается конструктивно в пределах $(1 \div 5)$ мм, принимаем опираясь на прототип $\Delta_K = 2$ мм.

$$\text{Длина намотки } l_H = l - 2\Delta - 2\Delta_K = 30 - 2 \cdot 1 - 2 \cdot 2 = 24 \text{ мм.}$$

$$\text{Длина катушки } l_K = l - 2\Delta = 30 - 2 = 28 \text{ мм.}$$

$$\text{Высота катушки } h_K = c - 2 \cdot \Delta = 15 - 2 \cdot 1 = 13 \text{ мм.}$$

$$\text{Высота намотки } h_H = h_K - \Delta - \Delta_K = 12 - 1 - 2 = 9 \text{ мм.}$$

$$\text{Средняя длина витка } l_{CP} = 4 \cdot K + \pi \cdot h_H = 4 \cdot 22 + \pi \cdot 9 = 112 \text{ мм,}$$

где $K = a + 2\Delta + 2\Delta_K = 16 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 2 = 22$ мм.

Предварительно принимаем коэффициент заполнения обмотки $K_m = 0,7$, коэффициент укладки при рядовой намотке принимаем $K_y = 0,9$.

Определяем число витков в первом приближении

$$w' = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot \Phi_m} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 4,05 \cdot 10^{-4}} = 4220 \text{ витков.}$$

Диаметр изолированного провода без учета прокладки между рядами

$$d'_{из} = \sqrt{\frac{h_H \cdot l_H \cdot K_y}{w'}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 24 \cdot 0,9}{3710}} = 0,23 \text{ мм,}$$

тогда диаметр изолированного проводника

$$d_{из} = d'_{из} - \frac{\Delta_{пр}}{2} = 0,23 - \frac{0,04}{2} = 0,21 \text{ мм,}$$

где $\Delta_{\text{ГР}}$ – толщина прокладки, принимаем равной $\Delta_{\text{ГР}} = 0,04$ мм.

Для провода ПЭТВ принимаем ближайший меньший диаметр изолированного провода [11, с. 135, табл. П.17] $d_{\text{ИЗ}} = 0,21$ мм, $d = 0,18$ мм, сечение выбранного провода $g = 0,0255$ мм².

Сопротивление обмотки при установившейся температуре

$$r = \rho_{\text{cu}} \cdot \frac{l_{\text{CP}} \cdot w'}{g} = 2,142 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{116 \cdot 10^{-3} \cdot 4220}{0,0255 \cdot 10^{-6}} = 411 \text{ Ом},$$

Где ρ_{cu} – удельное электрическое сопротивление меди при 75 °С.

$$\rho_{\text{cu}} = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T) = 1,62 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,0043 \cdot 75) = 2,142 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где $\rho_0 = 1,62 \cdot 10^{-8}$ Ом·м – удельное электрическое сопротивление меди при 0 °С.

Ток в обмотке

$$I = \frac{(Iw)}{\sqrt{2} \cdot w'} = \frac{5620}{\sqrt{2} \cdot 3710} = 1,071 \text{ А}.$$

Электродвижущая сила обмотки

$$E = \sqrt{U^2 - (I \cdot r)^2} = \sqrt{380^2 - (1,07 \cdot 411)^2} = 375 \text{ В}.$$

По величине E определяем число витков (второе приближение) и проверяем выполнение условия.

$$w'' = \frac{E}{4,44 \cdot f \cdot \Phi_m} = \frac{375}{4,44 \cdot 50 \cdot 4,6 \cdot 10^{-4}} = 3670 \text{ ВИТКОВ}.$$

$$\frac{w' - w''}{w'} = \frac{3710 - 3670}{3710} = 0,01 \leq (0,03 \div 0,05). \text{ Условие выполняется.}$$

8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНА

Чтобы не было вибрации якоря, минимальное значение пульсирующей электромагнитной силы притяжения якоря должно быть всегда больше суммы противодействующих сил, отрывающих якорь в его притянутом состоянии. Это достигается установкой экрана, разделяющего

площадь торца s_T стержня магнитопровода на экранированную $s_{Э}$ и неэкранированную s_H части так, чтобы получить необходимые величины потоков $\Phi_{Э}$ и Φ_H , магнитной индукции $B_{Э}$ и B_H , минимальные потери в экране $P_{Э}$.

У электромагнитов с тремя стержнями наибольшее распространение имеет расположение экранов на крайних стержнях. В этом случае имеется два больших преимущества. Во-первых, не происходит нагрев катушки, во-вторых, на центральном стержне легко сделать зазор отлипания.

Производим расчет экрана по отношению допустимой минимальной электромагнитной силы к среднему значению силы при отсутствии экрана (метод А.В. Шорыгина – Г.В. Могилевского). Расчет ведем для одного экранирующего витка.

Магнитный поток в рабочем зазоре с учетом конструкции магнитопровода [2, с. 343]

$$\Phi_{\delta_{ПР}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 378}{1,05 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4200 \cdot 2} = 1,93 \cdot 10^{-4} \text{ Вб},$$

где $\sigma_{\text{ср.пр}} = 1,05$ – коэффициент выпучивания [2, с. 344],

n_{δ} – коэффициент, учитывающий конструкцию магнитопровода, для Ш-образного магнитопровода, в котором поток проходит по боковым зазорам $n_{\delta} = 2$.

Определяем минимально допустимую силу притяжения на один зазор по [5, с. 132, формула 2-91]

$$F_{\text{min}} = 1 \cdot \frac{F_0}{2} = 1 \cdot \frac{21,84}{2} = 10,92 \text{ Н}.$$

Предварительно принимаем размеры короткозамкнутого витка равными ширина $\Delta_{Э} = 1,5$ мм, высота $h_{Э} = (1,5 \div 2) \cdot \Delta_{Э} = 2,6$ мм. Высоту паза принимаем больше высоты витка, так как в процессе работы при нагреве

витка происходит увеличение его объема. Принимаем высоту паза согласно прототипу $h_{\Pi} = 3$ мм.

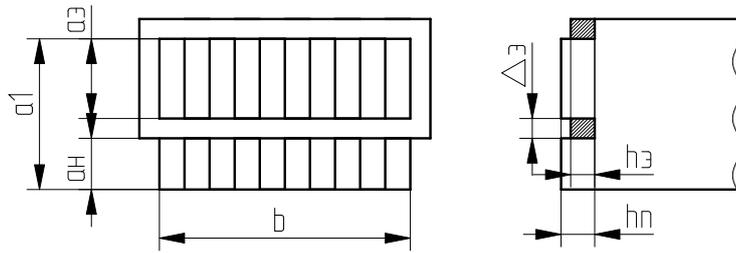


Рисунок 13 – эскиз электромагнитного экрана

$$a_H + a_{\text{Э}} = a_1 - \Delta_{\text{Э}} = 9 - 1,5 = 7,5 \text{ мм.}$$

Суммарная площадь в зазоре без учета площади экрана равна:

$$S_{H+\text{Э}} = (a_H + a_{\text{Э}}) \cdot b = 7,5 \cdot 15 = 112,5 \text{ мм}^2.$$

Отношение неэкранированной и экранированной частей торца полюса выбираем из рекомендуемых пределов $\alpha = (0,5 \div 0,6)$, принимаем $\alpha = 0,5$.

Тогда

$$\alpha = \frac{a_H}{a_{\text{Э}}} = \frac{2,5}{5,0} = 0,5.$$

Рассчитываем площади частей сечения керна:

$$\text{неэкранированной } S_H = a_H \cdot b = 2,5 \cdot 15 = 37,5 \text{ мм}^2,$$

$$\text{экранированной } S_{\text{Э}} = a_{\text{Э}} \cdot b = 5 \cdot 15 = 75 \text{ мм}^2.$$

Длина короткозамкнутого витка по средней линии

$$l_{\text{ср.Э}} = \frac{\Pi_H + \Pi_{\text{ВН}}}{2} = \frac{54 + 42}{2} = 48 \text{ мм,}$$

где Π_H – наружный периметр витка;

$\Pi_{\text{ВН}}$ – внутренний периметр короткозамкнутого витка.

$$\Pi_H = 2 \cdot (b + a_{\text{Э}} + 4 \cdot \Delta_{\text{Э}}) = 2 \cdot (15 + 5 + 4 \cdot 1,5) = 52 \text{ мм}$$

$$\Pi_{\text{ВН}} = 2 \cdot (b + a_{\text{Э}}) = 2 \cdot (15 + 5) = 40 \text{ мм.}$$

Принимаем материал короткозамкнутого витка – медь.

Токи, протекающие в витке, нагревают его до $(100-150) \text{ } ^\circ\text{C}$.

Определяем удельное сопротивление при температуре $T = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T) = 1,62 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,0043 \cdot 120) = 2,456 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

где ρ_{20} – удельное сопротивление КЗ витка данной марки при 20 °С, [2, с. 382, табл. 15-3];

α – температурный коэффициент сопротивления [2, с. 383], в расчетах для меди принимают $\alpha = 0,0043 \text{ 1/}^\circ\text{С}$.

Отношение допустимой минимальной электромагнитной силы к среднему значению этой силы [2, с. 347]:

$$f_{\text{Э}} = \frac{2}{4 \cdot \alpha + 1} = 1,966$$

Активное электрическое сопротивление экрана

$$r_{\text{Э}} = \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot S_{\text{Н+Э}}}{\delta_{\text{пр}}} \cdot \frac{4 \cdot f_{\text{Э}}}{(3 \cdot f_{\text{Э}} + 2)^2} \cdot \sqrt{4 - f_{\text{Э}}^2} =$$

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 120 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{4 \cdot 1,966}{(3 \cdot 1,966 + 2)^2} \cdot \sqrt{4 - 1,966^2} = 110 \text{ мОм}$$

Индуктивное магнитное сопротивление экранированной части

$$X_{\text{М}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{r_{\text{Э}}} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{110 \cdot 10^{-3}} = 2,86 \cdot 10^3 \text{ 1/Гн.}$$

Фазный угол сопротивления экрана [2, с. 348, формула 13-7]

$$\text{tg}\psi = \frac{\omega \cdot G_{\text{Э}}}{r_{\text{Э}}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{110 \cdot 10^{-3}} = 1,428, \text{ откуда } \psi = \text{arctg}(1,428) = 55^\circ,$$

где $G_{\text{Э}} = \frac{\mu_0 \cdot S_{\text{Э}}}{\delta_{\text{пр}}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 80 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$

Для упрощения расчетов примем $C_{\text{Ф}} = \frac{\Phi_{\text{Н}}}{\Phi_{\text{Э}}} = \frac{\alpha}{\cos\psi} = \frac{0,5}{0,57} = 0,877$.

Определяем поток проходящий через экранированную площадь полюса [2, с. 348, формула 13-8]

$$\Phi_{\text{Э}} = \frac{\Phi_{\text{ДПР}}}{\sqrt{1 + 2 \cdot C_{\text{Ф}} \cdot \cos\psi + C_{\text{Ф}}^2}} = \frac{1,93 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{1 + 2 \cdot 0,877 \cdot 0,55 + (0,87)^2}} = 1,172 \cdot 10^{-4} \text{ Вб,}$$

тогда поток проходящий через неэкранированную часть равен

$$\Phi_H = C_\Phi \cdot \Phi_\Delta = 0,877 \cdot 1,172 \cdot 10^{-4} = 1,03 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

По эмпирическим формулам [2, с. 348, формулы 13-10 – 13-12] определяем электромагнитную силу в экранированной и неэкранированной частях полюса, амплитудное, среднее и минимальное значение силы.

$$F_{\delta\Delta} = \frac{19,9 \cdot 10^4 \cdot \Phi_{\delta\Delta}^2}{S_\Delta} = \frac{19,9 \cdot 10^4 \cdot (1,2 \cdot 10^{-4})^2}{75 \cdot 10^{-6}} = 25,8 \text{ Н.}$$

$$F_{\delta H} = \frac{19,9 \cdot 10^4 \cdot \Phi_{\delta H}^2}{S_H} = \frac{19,9 \cdot 10^4 \cdot (1,4 \cdot 10^{-4})^2}{37,5 \cdot 10^{-6}} = 39,4 \text{ Н.}$$

Максимальная сила в полюсе с экраном

$$F_m = \sqrt{F_{\delta\Delta}^2 + F_{\delta H}^2 + 2 \cdot F_{\delta\Delta} \cdot F_{\delta H} \cdot \cos 2\psi} = \\ = \sqrt{25,8^2 + 39,4^2 + 2 \cdot 25,8 \cdot 39,4 \cdot (-0,64)} = 34,3 \text{ Н}$$

Среднее значение силы в полюсе

$$F_{CP} = F_{\delta\Delta} + F_{\delta H} = 25,8 + 39,4 = 65,2 \text{ Н.}$$

Минимальная сила равна

$$F_{min} = F_{CP} - F_m = 65,2 - 30,9 = 34,3 \text{ Н.}$$

Минимальное значение пульсирующей электромагнитной силы притяжения якоря больше суммы противодействующих сил, отрывающих якорь в его притянутаом состоянии. Это означает, что нет вибрации якоря. Электромагнитный экран рассчитан верно.

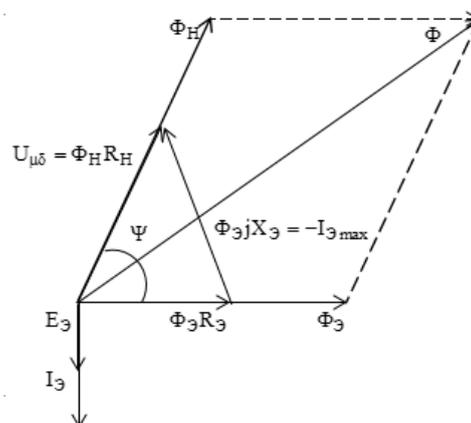


Рисунок 14 – векторная диаграмма экрана

9. РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СТАЛИ И КОРОТКОЗАМКНУТОГО ВИТКА

Данная магнитная цепь является симметричной относительно оси катушки, поэтому расчет можно провести для одной половины цепи. Схема замещения показана на рисунке 18. Расчет производим по методике предложенной в [6].

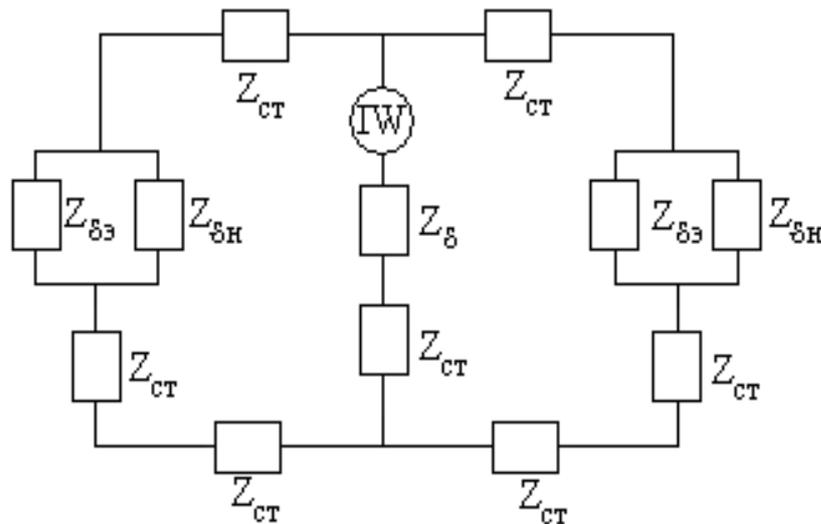


Рисунок 15 – схема замещения магнитной цепи

Магнитное сопротивление центрального зазора

$$R_{\delta I} = \frac{\delta_{IP}}{\mu_0 \cdot a \cdot b} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 16^2 \cdot 10^{-6}} = 0,6 \cdot 10^6 \text{ 1/Г.}$$

Магнитное сопротивление неэкранированной части рабочего зазора

$$R'_{\delta H} = \frac{\delta_{IP}}{\mu_0 \cdot a_H \cdot b} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 16 \cdot 10^{-6}} = 4,0 \cdot 10^6 \text{ 1/Г.}$$

Магнитное сопротивление экранированной части рабочего зазора

$$R'_{\delta Э} = \frac{\delta_{IP}}{\mu_0 \cdot a_Э \cdot b} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 16 \cdot 10^{-6}} = 2,0 \cdot 10^6 \text{ 1/Г.}$$

Сопротивление с учетом двух сторон магнитной цепи

$$R_{\delta H} = \frac{1}{2} \cdot R'_{\delta H} = \frac{1}{2} \cdot 4,0 \cdot 10^6 = 2,0 \cdot 10^6 \text{ 1/Г,}$$

$$R_{\delta Э} = \frac{1}{2} \cdot R'_{\delta Э} = \frac{1}{2} \cdot 10,3 \cdot 10^4 = 1,0 \cdot 10^6 \text{ 1/Г.}$$

Индуктивное сопротивление витка с учетом двух сторон магнитной цепи:

$$X_{\text{Э}} = \frac{1}{2} \cdot X_{\text{М}} = \frac{1}{2} \cdot 4,2 \cdot 10^3 = 2,1 \cdot 10^3 \text{ 1/Г.}$$

Амплитудное значение магнитного потока:

$$\Phi_{\text{м}} = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot w} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 3670} = 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ Вб,}$$

Максимальная индукция равна:

$$B_{\text{м}} = \frac{\Phi_{\text{м}}}{a \cdot b \cdot k_{\text{СТ}}} = \frac{4,7 \cdot 10^{-4}}{16^2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,95} = 1,8 \text{ Т.}$$

По кривой намагничивания [6, с. 10, табл. 3] определяем значение напряженности $H_{\text{м}} = 4000 \text{ А/м.}$

Определяем магнитные сопротивления стальных участков.

Полное удельное магнитное сопротивление:

$$\rho_{\text{Z}} = \frac{\sqrt{2} \cdot H_{\text{м}}}{B_{\text{м}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 4000}{1,8} = 3,1 \cdot 10^3 \text{ См/Г,}$$

Индуктивное удельное магнитное сопротивление:

$$\rho_{\text{X}} = \frac{2 \cdot P_{\text{уд}} \cdot \gamma}{\omega \cdot B_{\text{м}}^2} = \frac{2 \cdot 2,6 \cdot 7650}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1,8^2} = 17,3 \text{ См/Г,}$$

где γ – плотность стали 3413, $\gamma = 7650 \text{ кг/м}^3$;

$P_{\text{уд}}$ – удельные потери в стали. Для принятой стали удельные потери определяем по [6, с. 9, табл. 2], для этого берем удельные потери при ближайшем значении индукции по формуле

$$P_{\text{уд}} = P_{\text{уд1}} \cdot \left(\frac{B_{\text{м}}}{B_{\text{м1}}} \right)^2 = 0,8 \cdot \left(\frac{1,8}{1,5} \right)^2 = 1,2 \text{ Вт/кг,}$$

где $P_{\text{уд1}} = 0,8 \text{ Вт/кг,}$ при индукции $B_{\text{м1}} = 1,5 \text{ Тл.}$ [12]

Активное удельное магнитное сопротивление

$$\rho_{\text{r}} = \sqrt{\rho_{\text{Z}}^2 - \rho_{\text{X}}^2} = \sqrt{(3,2^2 \cdot 10^6 - 17,3^2)} = 3,1 \cdot 10^3 \text{ См/Г.}$$

Определяем среднюю длину пути магнитного потока

$$l_{\text{CP}} = 2 \cdot (H + c) + \pi \cdot \frac{a}{2} = 2 \cdot (0,036 + 0,014) + \pi \cdot \frac{0,016}{2} = 0,125 \text{ м.}$$

Активное магнитное сопротивление стали

$$R_{\mu\text{CT}} = \rho_r \cdot \frac{l_{\text{CP}}}{S_{\text{CT}}} = 3,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,125}{2,4 \cdot 10^{-4}} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ 1/Г,}$$

где S_{CT} – сечение стали,

$$S_{\text{CT}} = a \cdot b \cdot k_{\text{CT}} = 15^2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,95 = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Индуктивное магнитное сопротивление стали

$$X_{\mu\text{CT}} = \rho_X \cdot \frac{l_{\text{CP}}}{S_{\text{CT}}} = 17,3 \cdot \frac{0,125}{2,4 \cdot 10^{-4}} = 18,9 \cdot 10^3 \text{ 1/Г.}$$

Полное магнитное сопротивление бокового зазора с экраном

$$Z_{\delta 2} = \frac{R_{\delta\text{H}} \cdot (R_{\delta\text{Э}} + jX_{\text{Э}})}{R_{\delta\text{H}} + R_{\delta\text{Э}} + jX_{\text{Э}}} = 6,67 \cdot 10^5 + j \cdot 933,33 = 6,67 \cdot 10^5 \cdot e^{j0,08^\circ} \text{ 1/Г.}$$

Полное магнитное сопротивление цепи

$$Z_{\text{Э}} = R_{\delta 1} + Z_{\delta 2} + R_{\mu\text{CT}} + jX_{\mu\text{CT}} = 2,88 \cdot 10^6 + j \cdot 9,84 \cdot 10^3 = 2,88 \cdot 10^6 \cdot e^{j0,2^\circ} \text{ 1/Г.}$$

Потоки в экранированной и неэкранированной части бокового зазора

$$\Phi_{\text{мН}} = \Phi_{\text{м}} \cdot \frac{Z_{\delta 2}}{R_{\delta\text{H}}} = 1,56 \cdot 10^{-4} + j \cdot 2,18 \cdot 10^{-7} = 1,56 \cdot 10^{-4} \cdot e^{j0,08^\circ} \text{ Вб,}$$

$$\Phi_{\text{мЭ}} = \Phi_{\text{м}} \cdot \frac{Z_{\delta 2}}{R_{\delta\text{Э}} + jX_{\mu\text{Э}}} = 3,11 \cdot 10^{-4} - j \cdot 2,18 \cdot 10^{-7} = 3,11 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-j0,04^\circ} \text{ Вб.}$$

Сдвиг фаз между потоками

$$\psi = \psi_1 - \psi_2 = 0,08^\circ - 0,04^\circ = 0,04^\circ.$$

Магнитодвижущая сила при конечном зазоре

$$(Iw)_{\text{м}} = \Phi_{\delta} \cdot Z_{\text{Э}} = 558,76 + j \cdot 1,91 = 558,76 \cdot e^{j0,2^\circ} \text{ А.}$$

Ток в катушке

$$I = \frac{(Iw)_{\text{м}}}{\sqrt{2} \cdot w} = 0,108 + j \cdot 3,68 \cdot 10^{-4} = 0,108 \cdot e^{j0,2^\circ} \text{ А.}$$

Мощность, выделяемая в катушке [6, с. 13]

$$P_K = I^2 \cdot r = 0,108^2 \cdot 350 = 4,06 \text{ Вт.}$$

Определяем поверхность охлаждения катушки [6, с. 13]

$$S_{\text{ОХЛ}} = \left(2(a+b) + 2 \cdot \pi \cdot \left(h_H + \frac{a}{2} \right) \right) \cdot l_K = \left(2 \cdot 16 + 2 \cdot \pi \cdot \left(9 + \frac{16}{2} \right) \right) \cdot 28 \cdot 10^{-6} =$$

$$= 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Рассчитываем превышение температуры катушки над температурой окружающей среды [6, с. 13]

$$\tau_K = \frac{P_{\text{ОБ}}}{K_{\text{ТО}} \cdot S_{\text{ОХЛ}}} = \frac{4,06}{12 \cdot 4,8 \cdot 10^{-3}} = 70,48 \approx 70^\circ\text{C},$$

где $K_{\text{ТО}}$ – коэффициент теплоотдачи, принимаем $K_{\text{ТО}} = 12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$ [6, с. 13].

Потери в стали [6, с. 13]

$$P_{\text{СТ}} = \frac{1}{2} \cdot \omega \cdot \Phi_m^2 \cdot X_{\text{мСТ}} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \left(4,7 \cdot 10^{-4} \right)^2 \cdot 8,9 \cdot 10^3 = 0,30 \text{ Вт.}$$

Потери в короткозамкнутом витке [6, с. 14]

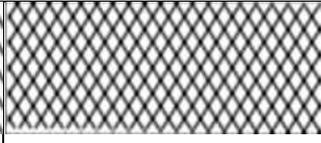
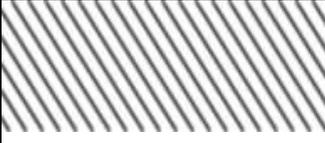
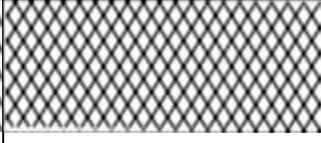
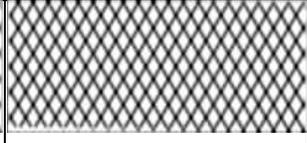
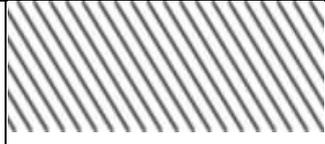
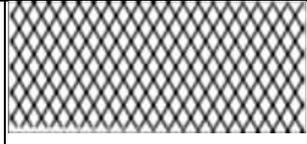
$$P_{\text{Э}} = \frac{1}{2} \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{мЭ}}^2 \cdot X_{\text{Э}} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \left(3,1 \cdot 10^{-4} \right)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^3 = 0,03 \text{ Вт.}$$

Таким образом из полученных данных видно, что расчетное превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды составляет 71°C , что меньше допустимого для принятого класса нагревостойкости В – 105°C [11, с. 123, табл. П-8].

10. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Темой дипломного проекта является «Проектирование элегазового выключателя». Спроектированный выключатель возможно использовать в дальнейшем на электрических подстанциях.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение разрабатываемого проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма

| | | | |
|---------------------------|---|--|---|
| Установка и пуско-наладка |  |  | |
| Обслуживание и ремонт |  |  |  |
| Фирма А |  | Фирма Б |  |

Результаты сегментирования:

- 1) Основными сегментами рынка являются все виды деятельности для контакторов переменного тока и магнитных пускателей;
- 2) Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой электромагнитных реле переменного тока;
- 3) Наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой электромагнитных реле переменного тока.

10.2. Анализ конкурентных технических решений.

Анализ конкурентных проектных решений целесообразно проводить с помощью оценочной карты, пример которой приведен на рис.1. Для этого необходимо отобрать около трех-четырех конкурентных товаров и разработок. В качестве конкурентных товаров были рассмотрены выключатели (Бф – масляный выключатель, БК1 - элегазовый, БК2 - воздушный).

Таблица 2.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
(разработок)

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | Максимальный балл | Относительное значение (3/4) | Средневзвешенное значение (5x2)x100 |
|---|--------------|-------|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Показатели оценки качества разработки | | | | | |
| 1. Повышение производительности труда пользователя | 0,08 | 93 | 100 | 0,93 | 7,44 |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,1 | 90 | 100 | 0,9 | 9 |
| 3. Помехоустойчивость | 0,05 | 88 | 100 | 0,88 | 4,4 |
| 4. Энергоэкономичность | 0,12 | 93 | 100 | 0,93 | 11,16 |
| 5. Надежность | 0,07 | 95 | 100 | 0,95 | 6,65 |
| 6. Уровень шума | 0,05 | 85 | 100 | 0,85 | 4,25 |
| 7. Безопасность | 0,02 | 85 | 100 | 0,85 | 1,7 |
| 8. Потребность в ресурсах памяти | 0,03 | 75 | 100 | 0,75 | 2,25 |
| 9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности) | 0,05 | 83 | 100 | 0,83 | 4,15 |
| 10. Простота эксплуатации | 0,04 | 97 | 100 | 0,97 | 3,88 |
| 11. Качество интеллектуального интерфейса | 0,04 | 95 | 100 | 0,95 | 3,8 |
| 12. Возможность подключения в сеть ЭВМ | 0,06 | 99 | 100 | 0,99 | 5,94 |
| Показатели оценки коммерческого потенциала разработки | | | | | |
| Окончание таблицы 2. | | | | | |
| 1. Конкурентоспособность продукта | 0,03 | 92 | 100 | 0,92 | 2,76 |
| 2. Уровень проникновения на рынок | 0,03 | 65 | 100 | 0,65 | 2,85 |
| 3. Цена | 0,08 | 70 | 100 | 0,7 | 5,6 |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,05 | 92 | 100 | 0,92 | 4,6 |

| | | | | | |
|--------------------------------------|----------|----|-----|------|--------------|
| 5. Послепродажное обслуживание | 0,02 | 92 | 100 | 0,92 | 1,84 |
| 6. Финансирование научной разработки | 0,03 | 80 | 100 | 0,8 | 2,4 |
| 7. Срок выхода на рынок | 0,02 | 75 | 100 | 0,75 | 1,5 |
| 8. Наличие сертификации разработки | 0,03 | 85 | 100 | 0,85 | 2,55 |
| Итого | 1 | | | | 88,72 |

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,08 \cdot 93 + 0,1 \cdot 90 + \dots + 0,03 \cdot 85 = 88,72,$$

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.

Значение P_{cp} получилось равным 88,72, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

10.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся ФСА-анализ, метод Кано, оценку конкурентных инженерных решений. Однако, в большей степени все приведенные методы ориентированы на совершенствование результатов научного исследования, находящегося на стадии создания макета, модели системы, прототипа, конечного продукта. Если разработка находится на перечисленных стадиях жизненного цикла нового продукта, можно предложить не менее двух–трех основных вариантов совершенствования разработки или основных направлений научного исследования.

Разработка относится к вышеописанным стадиям, поэтому нет необходимости использовать морфологический подход.

10.4. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в табл. 3.

Таблица 3
Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|---------------------------------|-------|--|-----------------------|
| Разработка технического задания | 1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель темы |
| Выбор направления исследований | 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Инженер |
| | 3 | Описание объекта разработки | Инженер |

Окончание таблицы 3.

| | | | |
|-----------------------------------|---|---|--------------|
| | 4 | Календарное планирование работ по теме | Руководитель |
| Теоретические и экспериментальные | 5 | Разработка электрических контактов реле | Инженер |

| | | | |
|--|----|--|--------------|
| исследования | 6 | Расчет механической характеристики | Инженер |
| | 7 | Проектный расчет электромагнитного механизма | Инженер |
| | 8 | Поверочный расчет | Инженер |
| | 9 | Расчет обмотки | Инженер |
| | 10 | Технологические расчеты | Инженер |
| Обобщение и оценка результатов | 11 | Оценка эффективности полученных результатов | Руководитель |
| <i>Проведение ОКР</i> | | | |
| Разработка технической документации и проектирование | 12 | Технико-экономические расчеты | Инженер |
| | 13 | Вопросы безопасности и экологичности проекта | Инженер |
| | 14 | Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации) | Инженер |

10.5. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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 $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

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

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

$t_{\max i}$ – 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_p , 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

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

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

10.6 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сводим в таблицу (табл. 4).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел-дней};$$

$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{Ч}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 116 - 14} = 1,553;$$

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня}.$$

Таблица 4. Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы | Трудоёмкость работ | | | Длительность работ в рабочих днях T_{pi} | Длительность работ в календарных днях T_{ki} |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--|--|
| | t_{min} , чел-дни | t_{max} , чел-дни | $t_{\text{ож}}$, чел-дни | | |
| | | | | | |

| | Руководитель | Инженер |
|--|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| Составление и утверждение технического задания | 1 | | 2 | | 2 | | 2 | | 4 | |
| Подбор и изучение материалов по теме | | 5 | | 9 | | 7 | | 7 | | 11 |
| Описание объекта разработки | | 3 | | 5 | | 4 | | 4 | | 7 |
| Календарное планирование работ по теме | 3 | | 5 | | 4 | | 4 | | 7 | |
| Разработка электрических контактов реле | | 5 | | 10 | | 7 | | 7 | | 11 |
| Расчет механической характеристики | | 3 | | 7 | | 5 | | 5 | | 8 |

Окончание таблицы 4.

| | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Проектный расчет электромагнитного механизма | | 3 | | 7 | | 5 | | 5 | | 8 |
| Поверочный расчет | | 2 | | 4 | | 3 | | 3 | | 5 |
| Расчет обмотки | 3 | | 7 | | 5 | | 5 | | 8 | |
| Технологические расчеты | | 5 | | 9 | | 7 | | 7 | | 11 |
| Оценка эффективности полученных результатов | 2 | | 4 | | 3 | | 3 | | 5 | |
| Технико-экономические расчеты | | 4 | | 7 | | 6 | | 6 | | 10 |
| Вопросы безопасности и экологичности проекта | | 3 | | 5 | | 4 | | 4 | | 7 |
| Составление пояснительной записки | | 1 | | 3 | | 2 | | 2 | | 4 |

На основе табл. 4 строим календарный план-график. 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 выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 5. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

| № работ | Вид работ | Исполнители | T_{ki} , кал. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|--------------|---------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|--|
| | | | | фев. | | март | | | апрель | | | май | | | июнь | | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | |
| 1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель | 4 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Инженер | 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Описание объекта разработки | Инженер | 7 | | | | | | | | | | | | | | |

Окончание таблицы 5

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--------------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 4 | Календарное планирование работ по теме | Руководитель | 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Разработка электрических контактов реле | Инженер | 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Расчет механической характеристики | Инженер | 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Проектный расчет электромагнитного механизма | Инженер | 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Поверочный расчет | Инженер | 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Расчет обмотки | Руководитель | 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Технологические расчеты | Инженер | 11 | | | | | | | | | | | | | | |

- накладные расходы.

Все необходимое оборудование и материалы имеются в лаборатории, поэтому расчет материальных затрат проводить не будем.

10.7.1 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. 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 табл. 6.

Таблица 6. Расчет основной заработной платы

| № п/п | Наименование этапов | Исполнители по категориям | Трудо-емкость, чел.-дн. | Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб. | Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб. |
|-------|--|---------------------------|-------------------------|--|---|
| 1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель | 4 | 2351 | 9404 |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Инженер | 11 | 1523 | 16753 |
| 3 | Описание объекта (разработки) | Инженер | 7 | 1523 | 10661 |
| 4 | Календарное планирование работ по теме | Руководитель | 7 | 2351 | 16457 |
| 5 | Разработка электрических контактов реле | Инженер | 11 | 1523 | 16753 |
| 6 | Расчет механической характеристики | Инженер | 8 | 1523 | 12184 |
| 7 | Проектный расчет электромагнитного механизма | Инженер | 8 | 1523 | 12184 |

| | | | | | |
|--------|--|--------------|----|------|--------|
| 8 | Поверочный расчет | Инженер | 5 | 1523 | 7615 |
| 9 | Расчет обмотки | Руководитель | 8 | 2351 | 18808 |
| 10 | Технологические расчеты | Инженер | 11 | 1523 | 16753 |
| 11 | Оценка эффективности полученных результатов | Руководитель | 5 | 2351 | 11755 |
| 12 | Технико-экономические расчеты | Инженер | 10 | 1523 | 15230 |
| 13 | Вопросы безопасности и экологичности проекта | Инженер | 7 | 1523 | 10661 |
| 14 | Составление пояснительной записки | Инженер | 4 | 1523 | 6092 |
| Итого: | | | | | 181310 |

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 3);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{53594 \cdot 10,4}{237} = 2351 \text{ руб.},$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 7).

Таблица 7. Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Инженер |
|--|--------------|---------|
| Календарное число дней | 365 | 365 |
| Количество нерабочих дней | | |
| - выходные дни | 52 | 52 |
| - праздничные дни | 14 | 14 |
| Потери рабочего времени | | |
| - отпуск | 48 | 48 |
| - невыходы по болезни | 14 | 14 |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 237 | 237 |

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб.},$$

где $Z_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{\text{ТС}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{\text{ТС}}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{\text{сi}} = 600$ руб. на тарифный коэффициент $k_{\text{Т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная

плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 8.

Таблица 8. Расчёт основной заработной платы

| Исполнители | $Z_{тс}$, руб. | $k_{пр}$ | $k_{д}$ | $k_{р}$ | $Z_{м}$, Руб | $Z_{дн}$, руб. | $T_{р}$, раб. дн. | $Z_{осн}$, руб. |
|-----------------|--------------------|----------|---------|---------|------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|
| Руководитель | 27484 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 53594 | 2351 | 24 | 56424 |
| Инженер | 17808 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 34725 | 1523 | 82 | 124886 |
| Итого $Z_{осн}$ | | | | | | | | 181310 |

10.7.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 56424 = 7335 \text{ руб.},$$

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

10.7.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (56424 + 7335) = 17279 \text{ руб.},$$

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 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (табл. 9).

Таблица 9. Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|---|---------------------------------|---------------------------------------|
| Руководитель проекта | 56424 | 7335 |
| Инженер | 124886 | 16235 |
| Коэффициент отчислений во вн,ебюджетные фонды | 0,271 | |
| Итого | | |
| Руководитель | 17279 | |
| Инженер | 38243 | |

10.7.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 = \\ &= (181310 + 23570 + 55522) = 41664, \end{aligned}$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

10.7.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 10.

Таблица 10. Расчет бюджета затрат

НТИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. | % |
|---|-------------|-------------------|
| 1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 181310 | Пункт |
| 2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 23570 | Пункт |
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды | 55522 | Пункт |
| 4. Накладные расходы | 41664 | 16 % от суммы ст. |

| | | |
|----------------------|--------|-----------|
| 5. Бюджет затрат НИИ | 302066 | Сумма ст. |
|----------------------|--------|-----------|

10.8 Определение ресурсоэффективности проекта

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

$$I_{фин}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где:

$I_{фин}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводим в виде табличной формы (табл. 11). Значения Φ_{max} и Φ_{pi} для каждого типа аппарата брались из сети интернет.

Таблица 11. Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

| Вариант схемы | Φ_{max} , руб. | Φ_{pi} , руб. | $I_{фин}^{исп.i}$, о.е. |
|---------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| 1 | 30500 | 30500 | 1 |
| 2 | | 27000 | 0,88 |
| 3 | | 24000 | 0,78 |

Величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости аппарата при одинаковой мощности. Схема 3 имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и, следовательно, вариант схемы является наиболее финансово эффективным, что является определяющим критерием.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы (табл. 12).

Таблица 12. Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии | Весовой коэффициент | Контактор переменного тока | Полупроводниковое реле | Электромагнитное реле переменного тока |
|----------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|--|
| 1. Безопасность | 0,2 | 5 | 5 | 5 |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,15 | 4 | 4 | 5 |
| 3. Помехоустойчивость | 0,10 | 4 | 4 | 4 |
| 4. Энергосбережение | 0,15 | 3 | 4 | 5 |
| 5. Надёжность | 0,25 | 5 | 5 | 5 |
| 6. Материалоёмкость | 0,15 | 4 | 4 | 4 |
| Итого: | 1,00 | 4,3 | 4,45 | 4,75 |

Расчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,75.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Заключение:

Таким образом, применение данных аппаратов и сейчас остается эффективным.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения, планирование, которое ограничило выполнение работы в 106 дней. Также был посчитан бюджет НИИ равный 302066 руб. Основная статья расходов приходится на оборудование.

11.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Социальная ответственность организаций при разработке проектируемого магнитного пускателя.

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрим безопасность и экологичность разработки, создания и использования контактора постоянного тока. Безопасность включает в себя оценку влияния опасных и вредных факторов, их анализ и меры их профилактики. В данном разделе, описывается несколько мероприятий по улучшению охраны и условий труда, предложены возможные чрезвычайные ситуации и их предотвращение. Выявление опасных и вредных факторов, которые встречаются в проектируемом процессе, их опасное влияние на человека и окружающую среду.

11.1Производственная безопасность

Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности.

К вредным факторам при разработке и эксплуатации контактора относятся повышенные уровни шума и вибрации, электромагнитные излучения.

11.1.1.Повышение уровня шума.

Повышение уровня шума и вибрации на рабочих местах оказывает вредное воздействие на организм человека. В результате длительного воздействия шума нарушается нормальная деятельность сердечно-сосудистой и нервной системы, пищеварительных и кроветворных органов, развивается профессиональная тугоухость, прогрессирование которой может привести к шуму составляет 80 дБА в соответствии с ГОСТ 12.1.003–2014 «Шум. Общие требования безопасности».

По СН 2.2.4/2.1.8.562-96 нормируются параметры шума и составляют: для лаборатории составляет 75 дБА;

для вентиляции составляет 70 дБА;

при работе с компьютером составляет 50 дБА.

При проектировании контактора и его проверки уровень шума составляет

от 70дБА до 90дБА, что требует некоторых мер по борьбе с шумами, например:

правильная организация труда и отдыха;

снижение и ослабление шума;

применение звукопоглощающих преград;

применение глушителей шума;

применение средств индивидуальной защиты от шума.

Общие требования безопасности для некоторых рабочих мест приведены в таблице 14.

Таблица 14 — Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

| | | |
|---------|---|----------------|
| Рабочие | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, | Уровни звука и |
|---------|---|----------------|

| места | Гц | | | | | | | | | эквивалентные уровни звука, дБА |
|---|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------------------------------|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| Конструкторские бюро, программисты, лаборатории | | | 5 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 |
| | 86 | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | |

11.1.2 Повышение вибрации

Уровень вибрации имеет диапазон от 0,1 до 10 Гц. Согласно ГОСТу 31191.4-2006. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка её воздействия на человека. Средствами защиты являются: специальная обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов.

10.2.1 Термическая опасность

Термическую опасность могут нести различного рода ожоги, которые могут возникнуть вследствие перегрева самого магнитного пускателя. Также, термический ожог можно получить при поражении током. Защитой от термической опасности являются: диэлектрические перчатки, обувь инструменты и термические костюмы.

11.2.2 Повышенный уровень статического электричества

К опасным факторам при разработке и эксплуатации пускателя относятся повышенный уровень статического электричества, повышенное значение напряжения в электрической цепи, термическая опасность, которые

нормируются ГОСТ'ом 12.1.038–82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».

Искровые разряды статического электричества представляют собой большую пожаро- и взрывоопасность. Их энергия может достигать 1,4 Дж, что вполне достаточно для воспламенения паро-, пыле- и газоздушных смесей большинства горючих веществ. Статическое электричество может также нарушать нормальное течение технологических процессов, создавать помехи в работе электронных приборов автоматики и телемеханики, средств радиосвязи. Средства защиты работающих по ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ делятся на средства коллективной защиты и средства индивидуальной защиты. Средства коллективной защиты от статического электричества по принципу действия делятся на следующие виды: заземляющие устройства, нейтрализаторы, увлажняющие устройства, антиэлектростатические вещества, экранирующие устройства. Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения делятся на: специальную одежду антиэлектростатическую, специальную обувь антиэлектростатическую, предохранительные приспособления антиэлектростатические (кольца и браслеты), средства защиты рук антиэлектростатические.

При повышенном значении напряжения в электрической цепи, есть рискпоражения электрическим током. Электрический ток, протекая через организм человека, оказывает тепловое (термическое), электролитическое и биологическое воздействие. Это может вызывать серьезные последствия для здоровья. Ожоги вызываются тепловым действием электрического тока или электрической дуги. Электролитическое воздействие проявляется в разложении плазмы крови и др. органических жидкостей, что может привести к нарушению их физико-химического состава.

Для обеспечения электробезопасности предусматривается: заземление, зануление токоведущих частей оборудования по ГОСТ 12.1.030 – 81 и ПУЭ, сопротивление заземления не более 4 Ом;

ограждение и изоляция оборудования и токопроводов по ГОСТ 12.1.030 – 81 и ПУЭ;

недоступность проводки;

автоматическое отключение и блокировка при аварии;

малое напряжение в особо опасных местах.

К общей системе заземления подключают все металлические части оборудования, не находящиеся под напряжением, но которые могут оказаться под током вследствие замыкания под корпус.

К защитным средствам относятся приборы, аппараты, устройства и инструмент, предназначенные для защиты персонала от поражения электрическим током. Защитные средства, используемые для монтажа, наладки и обслуживания силовых щитов:

указатель напряжения;

инструмент с изолирующими ручками;

перчатки резиновые диэлектрические;

галоши резиновые диэлектрические;

коврик резиновый диэлектрический

Защитное заземление и зануление применяют для защиты от поражения электрическим током и обеспечения условий отключения при повреждении изоляции электроустановок.

Организационные мероприятия для обеспечения безопасности работ – это выполнение работ в электроустановках по наряду, распоряжению, в порядке текущей эксплуатации, проводится ежегодное обучение персонала, медосмотры, также проверка знаний по ТБ и регулярная (раз в год) сдача экзаменов на группу допуска.

Надежные пускатели производятся с применением дорогих цветных металлов, такие контакторы могут выдержать очень большое количество срабатываний. Использование дешевых пускателей с дешевыми контактными пластинами приводит к сокращению срока эксплуатации такого аппарата.

Кроме того, уже через месяц работы может быть заметно существенное искрение на контактах, такое искрение хорошо заметно в темном помещении, что может привести к возгоранию.

11.3. Пожаробезопасность

Возгорание может произойти по следующим причинам:

несоблюдение правил эксплуатации электроустановок и электросети;

нарушение режимов работы термонагревающего оборудования;

перегрев мест соединений токоведущих частей в результате образования высокого переходного сопротивления;

несоблюдение правил пожарной безопасности.

Основываясь на федеральном законе от 22.07.2013 г. №123 – «ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» для предотвращения пожаров на предприятии проводятся мероприятия организационного, эксплуатационного, технического и режимного характера:

организационные: проведение инструктажей, бесед, лекций по пожарной безопасности (ПБ);

эксплуатационные: постоянный контроль правильности эксплуатации машин, аппаратуры, внутризаводского транспорта, оборудования, содержание зданий и близлежащих территорий в состоянии пожарной безопасности;

технические: соблюдение противопожарных правил при устройстве отопления, вентиляции, установке аппаратуры, применение в конструкциях приборов и устройств быстродействующих средств отключения возможных источников зажигания, устройств молниезащиты зданий и сооружений;

режимные: запрещение курения в не установленных местах.

11.4. Экологическая безопасность

Проектируемый магнитный пускатель обладает рядом преимуществ, обеспечивающих слабое негативное влияние на экологию: малое падение

напряжения на замкнутых контактах, и, как следствие, малое выделение тепла. Из этого следует, что в окружающую среду выбросов нет, а значит влияние на селитебную зону, атмосферу и гидросферу отсутствует.

При изготовлении магнитного пускателя переменного тока используются металлы.

Под влиянием погодных условий металлы, содержащиеся в деталях электронных и электрических аппаратах, могут образоваться связи с углеводородами и соединениями хлора, в избытке содержащимися в сделанных из пластмассы деталях.

В результате такие соединения образуют токсичные вещества, которые являются чрезвычайно опасными как для здоровья человека, так и для всей окружающей среды в целом, что описано в СанПиН 2.1.6.1032-01. «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест».

При неправильно осуществленном процессе утилизации вышедшие из строя пускатели представляют собой серьезную угрозу для экологии, их приемом, вывозом и утилизацией должны заниматься только специальные компании, имеющие на это не только разрешение, но и специальную технику и оборудование. Электрические аппараты по истечении срока своей службы не могут быть просто выброшены вместе с бытовым мусором, а должны быть утилизированы на специальном предприятии основываясь на ГОСТ 30773-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами.

Этапы технологического цикла. Основные положения», поскольку в противном случае урон, нанесенный окружающей среде, может быть просто невосполним. Необходимо также отметить, что несписанные должным образом и не утилизированные в соответствии с правилами и нормами законодательства приборы могут значительно увеличить расходы предприятия, поскольку часть деталей оборудования содержат черные, цветные и драгоценные металлы, делая при этом электронные и электрические приборы весьма ценным имуществом, облагаемые налогом.

Процесс переработки и утилизации пускателя основывается на принципе разделения на составные компоненты, а переработка является отдельным утилизационным процессом.

11.5.Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Надежность магнитного пускателя, это важная составляющая при проектировании, эксплуатации и выборе аппарата, так как выход из строя систем управления и коммутации может привести к негативным последствиям, и вывести из строя дорогостоящее оборудование, электродвигатели, разнообразные технологические станки.

К ЧС при эксплуатации пускателя переменного тока по ГОСТ Р 22.0.07-95. «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметрам относятся: возгорание, взрывы пускателя, а так же поломка приборов, зависящих от работы пускателя.

Это связано с перегревами, а также износом пускателей, связанного с внешними факторами, погодными условиями, или же от незапланированного увеличения нагрузки, а также просто от халатности рабочих. Отсутствие надлежащего контроля температур в рабочих элементах отрицательно сказывается на их сроке службы и производительности – даже недолгое залипание контактов пускателя может иметь катастрофические последствия и привести к опасности жизни людей, поломке электродвигателя. Это может случиться, если при залипании контактов контактора заклинит двигатель.

Может случиться внезапное неконтролируемое высвобождение энергии, что может привести к чрезвычайным событиям, самовозгоранию элементов пускателя и электродвигателя, что далее может повлечь за собой жертвы или принести значительный материальный ущерб.

Мерами по предотвращению ЧС может являться дополнительное промежуточное реле, которое срабатывает при залипании контактов, включая

звуковой сигнал, извещающий о перегреве. Самым же простым способом предотвращения ЧС является следование технике безопасности: своевременное включение и отключение экскаваторной техники, работа в режиме, соответствующем техническим данным проектируемого пускателя переменного тока.

При возникновении ЧС необходимо избавиться от паники и стараться ликвидировать ЧС в зависимости от ее вида. При возгорании магнитного пускателя необходимо остановить двигатель, и при помощи огнетушителя, аккуратно приоткрыв доступ к пускателю направить струю огнетушителя в предполагаемую область возгорания, в этом случае стоит помнить, что открывается и доступ к свежему воздуху, что помогает в возгорании. Этот способ подходит в том случае, если возгорание было замечено на начальном этапе, в остальных случаях следует обратиться в МЧС или же вызвать пожарных.

11.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При производстве и эксплуатации магнитного пускателя переменного тока необходимо руководствоваться нормативным документом ГОСТ 2491-82 «Пускатели электромагнитные низковольтные».

Работы по ТО и ТР, испытанию и наладке электрического и электронного оборудования необходимо производить в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 79

Предотвращение или уменьшение воздействия на работающих с проектируемым аппаратом определяется по ГОСТ 12.4.011-75 «Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Классификация»

Вывод по разделу

В данном разделе ВКР были проанализированы опасные и вредные факторы при разработке и эксплуатации магнитного пускателя переменного тока, а также методы защиты от них.

В ходе работы были проанализированы вопросы производственной безопасности, выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации пускателей, экологической безопасности, безопасности при чрезвычайных ситуациях, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

К каждому разделу прописаны нормативные документы, которыми нужно руководствоваться при эксплуатации проектируемого объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения задания на проектирование электрического аппарата был рассчитан магнитный пускатель переменного тока для пуска асинхронного двигателя мощностью 15 кВт.

Для расчётов было использовано программное обеспечение Mathcad 15.0, в качестве графического редактора, для выполнения чертежей и спецификации, использовался Компас-3D v.14.

Токоведущий контур выбран из условия допустимого нагрева шин и не размыкающих контактных соединений при длительно протекающем номинальном токе, что обеспечивает длительный срок службы магнитного пускателя без замены элементов токоведущего контура.

Расчет контактов показывает, что температура размыкания контактных соединений не достигает температуры рекристаллизации, что обеспечивает его надёжную работу. Материал контактов – металлокерамический сплав $AgCdO$, что обеспечивает высокую износостойкость контактов.

Выполнение задания по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение позволило доказать перспективность разработки с, а также провести обоснование конкурентоспособности данного технического. Планирование производственного процесса показало, что время, требующееся на реализацию проекта, составляет 106 дней.

В разделе социальной ответственности был произведен анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды, который показал, что производство нельзя отнести к категории опасных для жизни и здоровья человека. Анализ экологической безопасности показал, что вышедшие из строя и отработавшие срок службы пускатели необходимо утилизировать в соответствии с правилами и нормами законодательства, так как компоненты входящие в состав корпуса магнитного пускателя могут оказывать пагубное воздействие на окружающую среду. Также в этом разделе были проработаны правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Спроектированный пускатель отвечает всем поставленным в техническом задании требованиям, его преимуществами по отношению к своему прототипу является то, что контакты выполнены из более надежных металлов, тем самым срок службы увеличен.

Таким образом спроектированный магнитный пускатель является перспективной и конкурентоспособной разработкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таев И.С. Электрические аппараты управления: Учебник для вузов по спец. «Электрические аппараты». 2-е изд. перераб. и доп. – М., Высш. шк., 1984. – 247 с., ил.
2. Сахаров П.В. Проектирование Электрических аппаратов: учеб. Пособие для студентов электротехнических вузов. М., «Высшая школа», 1971. – 544 с., ил.
3. Буль Б.К. и др. Основы теории электрических аппаратов. Под ред. Буткевича Г.В. Учеб. пособие для электротехнич. специальностей вузов. М., «Высшая школа», 1970. – 600 с., ил.
4. Гордон А.В. Сливинская А.Г. Электромагниты переменного тока. М., «Энергия», 1968. – 200 с., ил.
5. Любчик М.А. Расчет и проектирование электромагнитов постоянного и переменного тока. М. – Л., Госэнергоиздат, 1959. – 234 с.
6. Ю.В. Копылов Расчет магнитной цепи переменного тока. Методические указания к выполнению курсовых заданий, курсовых и дипломных проектов. Томск: Изд. ТПУ, 1995 г. – 16 с.
7. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1,3-5-е изд перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1979. – 557 с.
8. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов.-3-е изд., перераб. и доп. – М.:Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
9. Контакты для магнитных пускателей – ЗАО «Электроконтакт» г. Кинешма [Электронный ресурс] URL: – <http://goo.gl/RkY1Eh>
10. Латунная лента Л63. Завод «Уралпрокат» [Электронный ресурс] URL: <http://goo.gl/SoGNRz>
11. Сипайлова Н.Ю. Вопросы проектирования электрических аппаратов: учебное пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 168 с.

12.3413 – Сталь электротехническая сернистая. Характеристика материала [Электронный ресурс] URL: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=928

13.Интернет-магазин Пульс Цен [Электронный ресурс] URL: <http://voronezh.pulscen.ru/>

14.МегаВатт-Прибор [Электронный ресурс] URL: <http://goo.gl/BGvz1C>

15.Элек, ООО, Продажа пускателей ПМЕ оптом [Электронный ресурс] URL: <http://goo.gl/RKuTIZ>

16.Денисова Л.Т., Белоусова Н.В. Применение серебра (обзор). – Красноярск,2009. – с.250–275.

ПРИЛОЖЕНИЕ А Сборочный чертёж

| | | | | | | | | |
|--------------|----------------|----------|--------|--------|--|----------------------------------|--------|---------|
| Изм. № подл. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | ФЮРА. 645000. 004 СБ Пускатель магнитный переменного тока Сборочный чертёж | Лит. | Масса | Масштаб |
| Инв. № инв. | № инв. | № дубл. | Подп. | и дата | | у | 0.6 | 1:1 |
| Взам. инв. № | № инв. № дубл. | Подп. | и дата | | | Лист | Листов | 1 |
| Справ. № | Перв. примен. | | | | | НИТПУ ЭНИН Группа 5ГЗГ | | |

| | | | |
|-----------|------|-----------|-----------|
| Н. контр. | Уте. | Копировал | Формат А3 |
|-----------|------|-----------|-----------|

