

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

Институт \_\_\_\_\_ ЭНИН \_\_\_\_\_  
 Направление подготовки \_\_\_\_\_ Электроэнергетика и электротехника \_\_\_\_\_  
 Кафедра \_\_\_\_\_ Электротехнических комплексов и материалов \_\_\_\_\_

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проектирование контактора постоянного тока для коммутации цепи привода экскаватора</b>

УДК 621.316.53:62-83:621.879

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Г	Мамыкина Дарья Денисовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Сипайлова Надежда Юрьевна	Кандидат технических наук, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Трофимова Маргарита Николаевна	Доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Невский Егор Сергеевич			

По разделу «Технология производства электрических аппаратов»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Баранов Павел Рудольфович	Кандидат технических наук, доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электротехнических комплексов и материалов	Гарганеев Александр Георгиевич	Доктор технических наук, профессор		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения по направлению подготовки  
(специальности) 14.03.02 Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

<b>Результат обучения</b>
<b>Профессиональные компетенции</b>
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.
<b>Универсальные компетенции</b>
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.

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

Институт \_\_\_\_\_ ЭНИН  
Направление подготовки \_\_\_\_\_ Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра \_\_\_\_\_ Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись) \_\_\_\_\_ (Дата) Гарганеев А.Г.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Г	Мамыкиной Дарье Денисовне

Тема работы:

Проектирование контактора постоянного тока для коммутации цепи привода экскаватора	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№343/с от 25.01.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.05.2016

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); 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.).*

Объект проектирования – контактор постоянного тока.

Технические данные:

Номинальное значение тока  $I_n = 400\text{А}$ ;

Номинальное значение напряжения главной цепи  
 $U_n = 220\text{В}$ ;

Число главных контактов  $n=1$ ;

Режим работы – продолжительный;

Область применения – электропривод экскаватора;

Технические условия в соответствии с областью применения.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ требований в сфере коммутационной аппаратуры электропривода экскаватора.</li> <li>2. Обзор контакторов постоянного тока.</li> <li>3. Анализ конструкции прототипа контактора постоянного тока.</li> <li>4. Проектирование узлов контактора постоянного тока.</li> </ol>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сборочный чертеж контактора постоянного тока.</li> <li>2. Чертеж электромагнита контактора.</li> </ol>
--	--

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
---	--

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трофимова М.Н.
Социальная ответственность	Невский Е.С.
Технология производства электрических аппаратов	Баранов П.Р.

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Сипайлова Надежда Юрьевна	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Г	Мамыкина Дарья Денисовна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«Технология производства электрических аппаратов»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Г2Г	Мамыкиной Дарье Денисовне

<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭКМ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Технологический процесс общей сборки контактора постоянного тока» :</b>	
1. Сборочный чертеж контактора постоянного тока; спецификация.	2. Годовая программа выпуска изделия 7000 штук
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Провести анализ конструкции электрического аппарата на технологичность	2. Составить схему сборки электрического аппарата
3. Выбрать оборудование, приспособления для сборки и испытания электрического аппарата	4. Разработать маршрутную технологию сборки электрического аппарата
5. Определить нормы времени на операции и оборудования	6. Построить график загрузки оборудования для обеспечения заданной программы
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. Комплект маршрутных карт и карты эскизов ( в приложении).	
2. График загрузки оборудования.	
3. Схема сборки электрического аппарата.	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры ЭКМ	Баранов Павел Рудольфович	К.Т.Н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Г2Г	Мамыкина Дарья Денисовна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5г2г	Мамыкина Дарья Денисовна

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Проектируемый контактор постоянного тока применяется в системах электропривода, выполняя функции безопасного управления главной цепи привода экскаватора.
---	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>1.1 К вредным факторам при разработке контактора постоянного тока относятся: повышенные уровни шума и вибрации, электромагнитные излучения.</p> <p>1.2 К опасным факторам при разработке контактора постоянного тока относятся: повышенный уровень статического электричества, повышенное значение напряжения в электрической цепи, термическая опасность.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>2. Влияние на селитебную зону, атмосферу и гидросферу при производстве контактора постоянного тока отсутствует ввиду отсутствия выбросов. Воздействие на литосферу имеется ввиду присутствия в конструкции контактора постоянного тока металлов, в качестве решения этой проблемы -</p>

<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>3. Надежность контактора постоянного тока - 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, например, экскаваторную технику.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>4. Эксплуатируемый контактор постоянного тока должен быть в полной исправности. Ограждение или защитные устройства должны быть установлены на место и соответствующим образом закреплены. Работать на неисправном оборудовании и при отсутствии или неисправном ограждении запрещается.</p>
<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> 22.04.2016</p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Невский Е. С.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5г2г	Мамыкина Д.Д.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Г	Мамыкиной Дарье Денисовне

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материальные затраты, заработная плата, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы.	<p>Материальные затраты определяются согласно стоимости комплектующих по прейскурантам или по договорной цене.</p> <p>Зарботная плата определяется исходя з тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион.</p> <p>Отчисления во внебюджетные фонды определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ.</p> <p>Накладные расходы определяются исходя из суммы остальных статей расходов.</p>
---	---

2. Продолжительность выполнения ТП	Приблизительная оценка продолжительности выполнения ТП составляет 250 календарных дней.
------------------------------------	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Формирование сметы.	<p>В процессе формирования сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– материальные затраты;</li> <li>– зарботная плата;</li> <li>– отчисления во внебюджетные фонды;</li> <li>– накладные расходы.</li> </ul>

Перечень графического материала:

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Трофимова М.Н.	Доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Г	Мамыкина Д.Д.,		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает в себя 89 страниц, 22 рисунка, 11 таблиц, 119 формул, 24 источника.

Объект исследования — контактор постоянного тока.

Цель работы заключается в проектировании контактора постоянного тока для коммутации цепи привода экскаватора на заданные параметры тока, напряжения и режима работы.

Для достижения этой цели, необходимо решить следующие задачи:

- выбор прототипа контактора постоянного тока;
- расчет токоведущего контура;
- расчет дугогасительного устройства;
- расчет механической характеристики;
- расчет электромагнитной системы.

Результатом проведенной работы является спроектированный контактор постоянного тока.

Ключевые слова: электрические аппараты, электромагнитный контактор, постоянный ток.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007, графическая часть выполнена в программе КОМПАС-3D V13.

## Оглавление

<u>ВВЕДЕНИЕ</u> .....	12
<u>1 ВЫБОР ПРОТОТИПА КОНТАКТОРА</u> .....	12
<u>1.1 Сравнение технических характеристик контактора</u> .....	12
<u>2 РАСЧЕТ ТОКОВЕДУЩИХ УЗЛОВ</u> .....	19
<u>2.1 Расчет токоведущего контура</u> .....	19
<u>2.2 Выбор болтовых соединений</u> .....	24
<u>2.3 Расчет коммутирующих контактов</u> .....	25
<u>2.4 Расчет дугогасительного устройства</u> .....	28
<u>3 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ</u> .....	34
<u>3.1 Кинематический расчет</u> .....	34
<u>3.2 Динамика механизма</u> .....	37
<u>4 РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ</u> .....	40
<u>5 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ</u> .....	53
<u>5.1 Технологический процесс общей сборки контактора постоянного тока</u> .....	53
<u>5.2 Оценка технологичности конструкции</u> .....	53
<u>5.3 Составление схемы сборки и маршрутной технологии производства контактора постоянного тока</u> .....	55
<u>5.4 Выбор сборочного оборудования и оснастки</u> .....	55
<u>5.5 Нормирование сборочных работ и расчёт количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы</u> .....	56
<u>5.6 Определение необходимого количества оборудования</u> .....	58
<u>6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ</u> .....	60
<u>6.1 Социальная ответственность организаций при разработке проектируемого контактора постоянного тока</u> .....	60
<u>6.2 Производственная безопасность</u> .....	60
<u>6.2.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности</u>	

.....	60
<u>6.2.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого контактора</u> .....	62
<u>6.3 Экологическая безопасность</u> .....	65
<u>6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях</u> .....	66
<u>6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</u> .....	67
<u>7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ</u> .....	69
<u>7.1 Расчетная калькуляция контактора</u> .....	69
<u>7.2 Расчет затрат на заработную плату</u> .....	70
<u>7.3 Расчет накладных расходов</u> .....	71
<u>7.4 Расчет прибыли предприятия</u> .....	72
<u>7.5 Определние точки безубыточности</u> .....	74
<u>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</u> .....	75
<u>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ</u> .....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	81
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	82

## ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение в большинстве современных строительных, земельных и погрузочных работах нашла экскаваторная техника. Важнейшим направлением в развитии техники является повышение производительности машин. Повышение производительности машин достигается за счет роста их типоразмеров и мощности, что ведет за собой необходимость использования массивного электрооборудования. Масса металлоконструкции экскаваторной техники довольно велика и в некоторых случаях достигает 40% массы машины, что необходимо для передвижения без опрокидывания экскаватора при транспортировке больших грузов или же рыхления твердых грунтов. Высокая масса экскаваторов приводит к повышению сопротивления перемещения машины, что увеличивает расход энергоресурсов, и, следовательно, увеличивает расход топлива. Высокий расход топлива значительно увеличивает затраты при эксплуатации машины из-за высоких цен на топливо. Поэтому, уменьшение габаритов, без потери качества и долговечности аппарата, является крайне актуальной темой.

Экскаваторная техника содержит большое количество рабочего оборудования, одним из главных элементов которого является контактор. Контакттор – коммутационный аппарат с неручным управлением, способный включать, проводить и отключать токи в нормальных условиях цепи, в том числе и при рабочих перегрузках. Наибольшее распространение получили низковольтные контакторы, в которых замыкание и размыкание контактов осуществляется под воздействием электромагнитного привода. Главным образом низковольтные электромагнитные контакторы делятся по роду тока главной цепи: постоянного тока, переменного тока, постоянного и переменного тока. Для дистанционного управления цепью электропривода экскаватора удобно и безопасно используется контактор постоянного тока. Высокая эффективность таких аппаратов и несложная конструкция предопределила их

широкое распространение и необходимость в их массовом производстве. Промышленностью выпускаются контакторы постоянного тока на определенные номинальные значения:

- номинальные значения напряжения главной цепи: 220 В и 440 В;
- номинальные значения тока главной цепи: 100, 160, 250 и 630 А.

При номинальном значении тока, которое незначительно превышает 250А нецелесообразно использовать контактор, рассчитанный на 630 А, так как увеличение значения номинального тока подразумевает увеличение его массы и габаритов, вследствие увеличения расходов материалов. Увеличение расхода материалов связано с рабочими органами контактора, так как им необходимо выдерживать увеличившуюся тепловую нагрузку. Увеличение массы и габаритов контактора увеличивает стоимость контактора и его тепловые потери. В соответствии с техническим заданием необходимо рассчитать контактор постоянного тока для коммутации привода цепи экскаватора на номинальное значение тока, равное 400 А.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование контактора постоянного тока для коммутации цепи привода экскаватора на заданные номинальные параметры. При проектировании данного аппарата необходимо рассмотреть наиболее подходящие варианты контакторов и отобрать один, который подлежит дальнейшим изменениям. Под изменениями контактора подразумевается разработка нового электрического аппарата, рассчитанного на технические параметры в соответствии с техническим заданием выпускной квалификационной работы. В ходе разработки контактора главной целью будет являться уменьшение габаритов и массы аппарата относительно прототипа. При имеющемся прототипе есть возможность проработать информацию о целесообразных проектных решениях, доработать имеющийся прототип таким образом, чтобы он отвечал всем требованиям, которым должен отвечать электрический аппарат.

# 1 ВЫБОР ПРОТОТИПА КОНТАКТОРА

## 1.1 Сравнение технических характеристик контактора

Контакторы постоянного тока в основном выпускаются на напряжение от 22 В до 440 В, токи до 630 А в однополюсном и двухполюсном исполнениях. С учетом исходных данных было выбрано несколько типов контакторов постоянного тока. В качестве контактора постоянного тока, применяемого для работы в силовых электрических цепях, существуют некоторые контакторы, например, серии КП2, КВ1, МК620, КВТ, КПВ600, ТКД501. Их параметры не соответствуют исходным данным технического задания. Проанализировав параметры данных аппаратов, можно спроектировать подходящий исходным данным контактор.

Контакторы электромагнитные серии и КП2 (Рисунок 1) предназначены для коммутирования электрических цепей генераторов и электродвигателей постоянного тока. Контакторы допускают работу в силовых цепях электроприводов с напряжением постоянного тока до 1000 В. В качестве контакторов динамического торможения в системах ГД и других аналогичных режимах и могут применяться в цепях с потенциалом 1200 В без коммутации тока. Этот тип контактора используется для управления силовыми цепями генераторов и электродвигателей с токами до 2500 А.



Рисунок 1 — Контактор серии КП2

Контакторы серии КВ1 (Рисунок 2) представляют собой вакуумные контакторы предназначенные для использования в пускателях, станциях управления, для коммутации токов включения и отключения асинхронных

электродвигателей с короткозамкнутым ротором и других приёмников электроэнергии в системах дистанционного управления электроприводами. Преимущества этих контакторов – небольшие габаритные размеры и малая масса. Питание катушек от сети переменного тока осуществляется через выпрямительный блок. Питание катушек от сети постоянного тока осуществляется непосредственно от сети с последующим включением балластного сопротивления в цепь втягивающих катушек при помощи контакта промежуточного реле, катушка которого питается от этой же сети постоянного тока



Рисунок 2 — Контактр серии KB1

Контактрост постоянного тока серии МК620 (Рисунок 3) предназначены для работы в силовых электрических цепях тепловозов и общепромышленных стационарных установок с номинальным напряжением 440 В и 660 В постоянного тока. Контактрост пригодны для работы в продолжительном, повторно-кратковременном и кратковременном режимах работы.

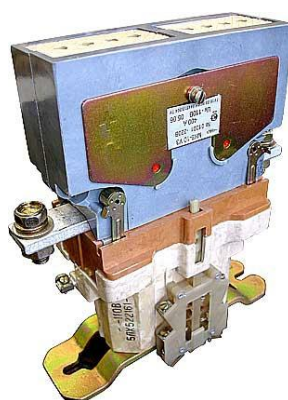


Рисунок 3 — Контактрост серии МК620

Вакуумный контактор серии КВТ (Рисунок 4) предназначен для постоянных или разовых включений и отключений токов, которые не превышают токов перегрузки силовых цепей.



Рисунок 4 — Контактор серии КВТ

Контакторы серии КПВ600 (Рисунок 5) предназначены для коммутации главных цепей электроприводов постоянного тока. Контакторы этой серии предназначены для работы в электрических цепях большой мощности, с токами в сотни ампер. Они используются, если необходимо значительное усилие для нажатия на силовые размыкающие контакты и значительный зазор между ними для исключения возможности пробоя при отключении контактора от сети. Такие контакторы имеют два исполнения: с одним замыкающим главным контактом (КПВ 600) и с одним размыкающим главным контактом (КПВ 620). Управление контакторами осуществляется от сети постоянного тока. Контакторы выпускаются на номинальные токи от 100 до 630А. Эта серия контакторов лучше всего подходит для тяжелых режимов работы.

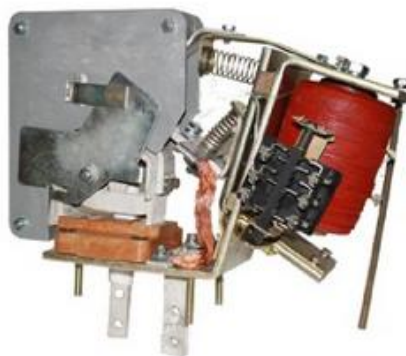


Рисунок 5 — Контактор серии КПВ600



Контакторы серии ТКД501 (Рисунок 6) предназначены для коммутации электрических цепей постоянного напряжения до 30 В и переменного напряжения до 220 В частотой от 360 Гц до 1100 Гц. Данные контакторы применяются в оборудовании различных видов техники, в том числе в автомобилестроении, тракторостроении, судостроении, железнодорожном транспорте.



Рисунок 6 — Контактор серии ТКД501

Далее сведем технические данные по всем контакторам в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение технических характеристик контакторов

		КП2	КПВ600	МК620	КВ1	ВТ	ТКД501
Номинальные значения	Напряжение, В	600	220	440	80	20	27
	Ток, А	2500	630	630	400	400	50
Обмотка	Напряжение, В	220	220	220	220	220	30
	Мощность, Вт	180	70	150	<10	<10	75
Собственное время, с	Включение	0,25	0,2	0,18	0,1	0,1	0,2
	Отключение	0,07	0,25	0,06	0,1	0,1	0,1
Механическая износостойкость		-	$10^7$	$5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$10^5$
Коммутационная износостойкость		-	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$15 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$10^5$
Частота срабатываний, 1/ч		240	1200	600	1200	1200	120
Вес, кг		80	30	12	9	7,5	1,6
Цена, тыс. руб		90	12,5	9,5	28,5	17	4

Основываясь на анализе технических характеристик контакторов, которые сведены в таблице 1, можно выделить два типа контакторов, которые наиболее подходят в качестве прототипа: контактор серии КВТ и контактор серии КПВ600. Контактор серии КВТ является вакуумным контактором, который среди множества современных контакторов отличается небольшими габаритами и малым весом, недостаток таких контакторов, сравнительно с остальными – очень высокая стоимость. Высокая цена обусловлена

сложностью конструкции, это в свою очередь влияет на увеличение времени производства, а также ограничивает приобретение аппарата при необходимости его замены. Контактёр серии КПВ600 имеет хорошие технические характеристики, опираясь на которые, нет повода усомниться в качестве его работы, надёжности и долговечности, при этом не имеет сложностей в конструкции и с экономической точки зрения является довольно выгодным вариантом. Главными недостатками контактора серии КПВ600, в отличие от вакуумного контактора, являются его габаритные размеры и вес. Учитывая все достоинства и недостатки контакторов, можно сделать вывод, что целесообразно в качестве прототипа выбрать контактор КПВ600, на основе которого будет разработан контактор с меньшими габаритами и массой.

Электромагнитные контакторы серии КПВ600 предназначены в основном для управления электродвигателями постоянного тока и применяются в качестве линейных контакторов, реверсирующих контакторов. Основное применение эти контакторы нашли в крановом оборудовании, на металлургических и сталелитейных производствах. Контактёры исполняются с одним замыкающим главным контактом. Режим работы: продолжительный, прерывисто-продолжительный и повторно-кратковременный. Контактёры этой серии для продолжительного режима работы имеют контакты с серебряными вставками.

Основными преимуществами являются:

- естественное воздушное охлаждение, которое обеспечивается открытым исполнением контактора;
- крепление на изоляционные или металлические монтажные пластины;
- заднее или переднее присоединение внешних проводников;
- предусмотрена возможность регулировки раствора и провала силовых контактов;
- съёмные дугогасительные камеры из аминопласта;
- степень защиты — IP00.

Условия эксплуатации контактора следующие:

- высота над уровнем моря не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха от - 40 до 55 ° С;
- относительная влажность не более 98 % при температуре 25 ° С;
- в закрытых помещениях на открытых панелях;
- рабочее положение в пространстве – крепление на вертикальной плоскости, допускается отклонение  $\pm 5^\circ$ ;
- не допускается установка контакторов в среде взрывоопасной, насыщенной токопроводящей пылью и водяными парами, содержащей едкие газы и пары, в концентрациях, разрушающих металл и изоляцию; в местах, не защищенных от солнечной радиации, прямого попадания воды, масла, эмульсий и т.п.

Структура маркировки контактора серии КПВ600: КП – обозначение вида контактора: контактор постоянного тока; В – индекс изготовителя; 6 – номер серии; 0 – с гашением; 0 – условное обозначение контактора по величине номинального тока.

Конструкция контактора серии КПВ600 (Рисунок 7) представляет собой собранный аппарат на основной скобе 6 магнитопровода, которую рекомендуется устанавливать на изоляционной панели, а на металлической изолированной плите – на металлических рейках. Пусковая цепь привода коммутируется главными контактами (подвижным 7 и неподвижным 1). При подаче напряжения на катушку 20 к ее сердечнику притягивается якорь 16, на котором закреплен скоба 12, несущая подвижный подпружиненный контакт 7. Неподвижный контакт закреплен на нижней части скобы магнитопровода совместно с выводом дугогасительной катушки 3. Второй контакт этой катушки является контактным зажимом. Дугогасительная система (катушка 3, скоба, камера) позволяет гасить электрическую дугу главных контактов. Для предотвращения вибраций контактов контактная пружина 12 создает предварительное нажатие, равное примерно половине конечной силы нажатия.

При износе контактов неподвижный контакт 1 заменяется новым, а пластина подвижного контакта поворачивается на  $180^\circ$  и неповрежденная сторона ее используется в работе. Возврат якоря в начальное положение (после отключения электромагнита) производится пружиной. В процессе работы происходит износ призмы 19, которую можно заменить при регламентных работах и восстановить работу механизма. В процессе эксплуатации работа контактора сопровождается механическими вибрационными нагрузками, экскаватора. Для исключения разрушения деталей и узлов контактора, а также отвинчивания крепежных деталей под действием этих вибраций использованы детали повышенной жесткости и прочности, крепеж (болты, винты) укомплектованы пружинными шайбами. Контакторы КПВ600 имеют магнитное гашение дуги в камере с широкой щелью. Дугогасительная камера может быть легко снята без отвинчивания каких-либо деталей. В прорезь основной скобы магнитопровода вставляется якорь Г-образной формы, на котором крепится скоба-кронштейн, несущая подвижный контакт с контактной пружиной (для однополюсных), у двухполюсных – подвижные контакты крепятся к якорю через изоляционную колодку. В контакторах КПВ600 параллельно втягивающей катушке включается разрядное сопротивление, потребляющее мощность около 10 Вт. Наличие сопротивления снижает перенапряжение, возникающее в катушке при ее отключении, увеличивает долговечность катушки. Блок вспомогательного контакта состоит из пластмассового основания, на котором крепятся неподвижные контакты, траверсы с подвижными мостиками и отжимной пружиной и скобы, являющейся направляющей для траверсы и соединяющей все детали вспомогательных контактов в единый узел. Для воздействия на траверсу вспомогательных контактов к якорю контактора крепится специальная нажимная пластинка.

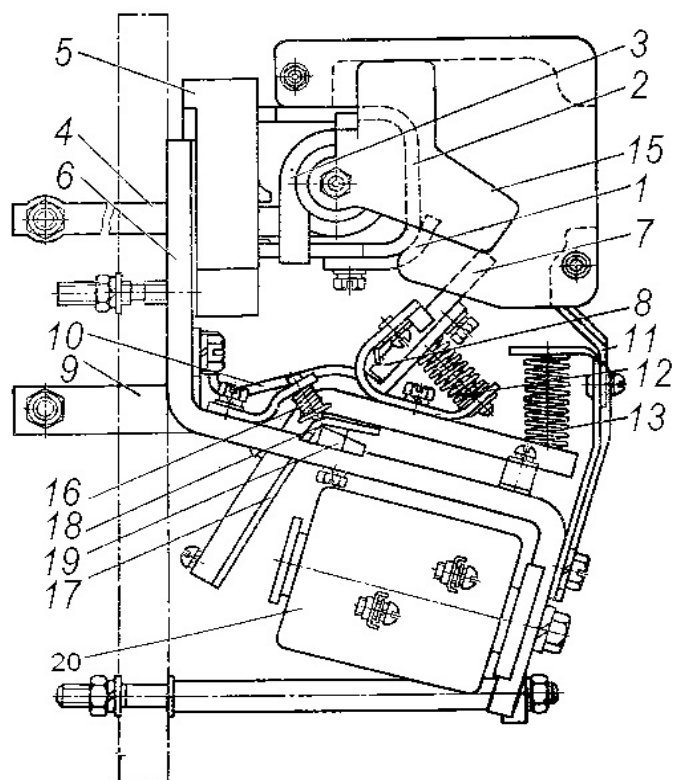


Рисунок 7 – Конструкция контактора КПВ605:

1 – неподвижный контакт; 2 – скоба; 3 – дугогасительная катушка;  
 4 – вывод дугогасительной катушки; 5 – основание; 6 – скоба  
 (магнитопровод); 7 – подвижный контакт; 8 – опора; 9 – вывод подвижного  
 контакта (корпус); 10 – гибкий вывод контакта; 11 – защитный рог подвижного  
 контакта; 12 – пружина контактного нажатия; 13 – возвратная пружина; 15 –  
 дугогасительная камера; 16 – пружина; 17 – якорь; 18 – ось якоря; 19 – опора;  
 20 – катушка.

## 2 РАСЧЕТ ТОКОВЕДУЩИХ УЗЛОВ

### 2.1 Расчет токоведущего контура

Расчет токоведущего контура контактора (Рисунок 8) заключается в определении размеров сечения его частей. Сечение является исходной величиной для многих последующих расчетов частей аппарата.

Расчет производим для исходных данных:

- номинальный ток  $I_n = 400 \text{ A}$ ,

- номинальное напряжение  $U_H = 220 \text{ В}$ ,
- режим работы – *SI* длительный.

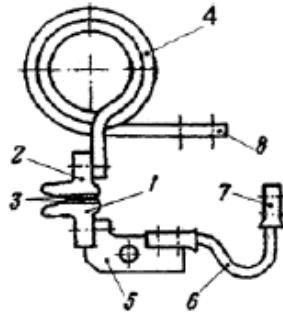


Рисунок 8 — Токоведущий контур контактора постоянного тока:  
 1 – подвижный силовой контакт; 2 – неподвижный силовой контакт;  
 3 – контактные накладки; 4 – катушка дугогасительной системы;  
 5, 7, 8 – токоотводы; 6 – гибкие соединения.

Допустимые температуры нагрева проводника и окружающей его изоляции неодинаковы. Поэтому температура нагрева токоведущих частей аппаратов регламентируется ГОСТ 12434-66 в соответствии со свойствами применяемой изоляции. В контакторе будут использованы изоляционные детали, соответствующие классу нагревостойкости А [1, с. 44].

В качестве проводникового материала будем использовать медь марки М1 по ГОСТ 859-66. Для медной шины без защитных покрытий контактных поверхностей допустимая температура при продолжительном режиме  $\theta_{\partial} = 95 \text{ }^{\circ}\text{C}$  [1, табл. 4]. При температуре окружающей среды  $\theta_{cp} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$  установившееся превышение температуры составит:

$$\tau_y = \theta_{\partial} - \theta_{cp} = 95 - 40 = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (1)$$

При отсутствии дополнительных требований, принимаем ток короткого замыкания равным:

$$I_{кз} = 10 \cdot I_H = 10 \cdot 400 = 4000 \text{ А}. \quad (2)$$

Определение размеров сечения шины будем производить по термической стойкости и по номинальному току (Рисунок 9).

Термическая устойчивость аппарата – его свойство выдерживать кратковременные тепловые действия тока 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 препятствует его нормальной дальнейшей работе. Обычно время воздействия токов короткого замыкания значительно меньше постоянной времени нагрева токоведущих частей. Поэтому процесс нагрева происходит так, что тепло не отдается в окружающую среду.

Определяем размеры сечения шины для времени короткого замыкания, установленного рекомендациями МЭК (1, 3, 5, 10 секунд). Время термической стойкости – время для расчета на время короткого замыкания, принимаем  $t_{кз} = 3$  с. Под формой шины принимаем прямоугольное сечение шириной  $a$  и высотой  $b$  (Рисунок 9). Принимая коэффициент добавочных потерь  $k_{\theta} = 1$ , отношение сторон  $n = a/b = 1/3$  (Рисунок 9), коэффициент теплоотдачи  $k_{mo} = 7,5 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  [1, табл. П.10], находим размеры токоведущей шины:

$$b = \sqrt[3]{\frac{I_n^2 \cdot k_{\theta} \cdot \rho_{\theta}}{2 \cdot n \cdot (n+1) \cdot k_{mo} \cdot \tau_y}} = \sqrt[3]{\frac{400^2 \cdot 1 \cdot 2,28 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot \frac{1}{3} \cdot (\frac{1}{3} + 1) \cdot 7,5 \cdot 55}} = 0,02 \text{ м}, \quad (3)$$

где  $\rho_{\theta} = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta_{\theta}) = 1,62 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,004395) = 2,28 \cdot 10^{-8}$  Ом·м — удельное электрическое сопротивление меди при допустимой температуре,  $\rho_0 = 1,62 \cdot 10^{-8}$  Ом·м — удельное электрическое сопротивление меди при нулевой температуре;  $\alpha = 0,0043$  1/°C — температурный коэффициент сопротивления по [1, табл. П.11].

Зная отношение сторон  $n = a/b = 1/3$  и величину стороны  $b$ , найдем сторону  $a$ :

$$a = b \cdot n = 0,02 \cdot \frac{1}{3} = 0,0067 \text{ м}. \quad (4)$$

В соответствии с полученными значениями и стандартными значениями [1, табл. 16], размер сечения шины принимаем следующий:  $S = 140 \text{ мм}^2$ .



Рисунок 9 — Сечение шины токопровода

Расчетное сечение из условий термической стойкости:

$$S_m = I_{кз} \cdot \sqrt{\frac{t_{кз}}{A_{кз} - A_H}} = 4000 \cdot \sqrt{\frac{3}{(3,75 - 1,2) \cdot 10^4}} = 43,5 \text{ мм}^2, \quad (5)$$

где по [1, рис. 5.5]:  $A_{кз} = 3,75 \cdot 10^4 \text{ с/мм}^2$  – коэффициент термической стойкости при конечной температуре;  $A_H = 1,75 \cdot 10^4 \text{ с/мм}^2$  – коэффициент термической стойкости при начальной температуре.

Расчетное сечение из условий термической стойкости получилось меньше, чем расчетное сечение из условия нагрева до допустимой температуры. Это означает, что окончательно размеры токоведущей шины принимаем следующие:  $a = 7 \text{ мм}$ ,  $b = 20 \text{ мм}$ ,  $S = 140 \text{ мм}^2$ .

Следующим этапом нужно уточнить значение коэффициента теплоотдачи:

$$\begin{aligned} k_{mo} &= 1,33 \cdot \frac{(T - T_{cp})^{0,25}}{L^{0,25}} + 2,04 \cdot 10^{-7} \cdot T_{cp}^3 \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{2,08 \cdot T}{T_{cp}} - 1\right) = \\ &= 1,33 \cdot \frac{(368 - 313)^{0,25}}{(7 \cdot 10^{-3})^{0,25}} + 2,04 \cdot 10^{-7} \cdot 313^3 \cdot 0,644 \cdot \left(\frac{2,08 \cdot 368}{313} - 1\right) = \\ &= 18,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $T$  — температура шины, К;  $T_{cp}$  — температура окружающей среды, К;  $L$  — определяющий размер, м; в качестве определяющего размера принимается ширина шины  $a$ .

С учетом ухудшения теплоотдачи в закрытых объемах:

$$k_{mo} = \frac{18,3}{1,5} = 12,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}). \quad (7)$$



Далее необходимо уточнить значение температуры самой шины:

$$\tau_y = \frac{I^2 \cdot k_\theta \cdot \rho_\Theta}{S \cdot k_{mo} \cdot p} = \frac{400^2 \cdot 1,2,28 \cdot 10^{-8}}{140 \cdot 10^{-6} \cdot 12,2 \cdot 54 \cdot 10^{-3}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (8)$$

где  $p = 2 \cdot (a + b) = 2 \cdot (7 + 20) \cdot 10^{-3} = 54 \cdot 10^{-3}$  м — периметр шины.

Уточненное значение допустимой температуры

$$\theta_\theta = \tau_y + \theta_{cp} = 40 + 40 = 80 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (9)$$

Уточненное значение температуры отличается от принятого первоначально  $\theta_\theta = 95 \text{ }^\circ\text{C}$  более чем на 5 %, что в соответствии с ГОСТ 12434-66 требует пересчета.

Пересчитаем удельное электрическое сопротивление и коэффициент теплоотдачи относительно температуры  $\theta_\theta = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Theta) = 1,62 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,0043 \cdot 80) = 2,18 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}. \quad (10)$$

$$\begin{aligned} k_{mo} &= 1,33 \cdot \frac{(T - T_{cp})^{0,25}}{L^{0,25}} + 2,04 \cdot 10^{-7} \cdot T_{cp}^3 \cdot \varepsilon \cdot \left( \frac{2,08 \cdot T}{T_{cp}} - 1 \right) = \\ &= 1,33 \cdot \frac{(353 - 313)^{0,25}}{(7 \cdot 10^{-3})^{0,25}} + 2,04 \cdot 10^{-7} \cdot 313^3 \cdot 0,644 \cdot \left( \frac{2,08 \cdot 353}{313} - 1 \right) = \\ &= 16,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}). \end{aligned} \quad (11)$$

С учетом ухудшения теплоотдачи в ограниченном пространстве:

$$k_{mo} = \frac{16,9}{1,5} = 11,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}). \quad (12)$$

Далее необходимо уточнить значение температуры самой шины:

$$\tau_y = \frac{I_n^2 \cdot k_\theta \cdot \rho_\Theta}{S \cdot k_{mo} \cdot p} = \frac{400^2 \cdot 1,2,18 \cdot 10^{-8}}{140 \cdot 10^{-6} \cdot 11,3 \cdot 54 \cdot 10^{-3}} = 38 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (13)$$

Тогда допустимая температура шины  $\theta_\theta = \tau_y + \theta_{cp} = 38 + 40 = 78 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Рассчитанное превышение температуры шины находится в пределе  $\pm 5 \%$  от допустимого превышения температуры шины, по [1, стр. 43]. Поэтому при принятых размерах шины  $a = 7$  мм,  $b = 20$  мм,  $S = 140$  мм<sup>2</sup> в нормальном и аварийном режимах перегрева свыше допустимой температуры не произойдет, дальнейшие расчеты ведутся относительно  $\theta_\theta = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 2.2 Выбор болтовых соединений

Для крепления шины на скобу необходимо выбрать болты. По [2, табл. 22-1] для  $I_n = 400$  А необходим стальной болт М12. При принятой ранее ширине шины контактная поверхность зажима  $s_k = 20 \cdot 20 = 400$  мм<sup>2</sup>. По ГОСТ 10434-68 удельное контактное нажатие должно быть не менее  $f_k = 100$  кгс/см<sup>2</sup>, следовательно, необходимая сила нажатия должна быть больше, чем  $F_k = f_k \cdot s_k = 100 \cdot 4 = 400$  кгс = 3,93 кН. Болт М12, согласно [2, табл. 22-3] развивает силу 10 кН, следовательно, условие выполняется и данный болт можно использовать для крепления шины.

Переходное сопротивление контактов обусловлено не только явлением стягивания линий тока. Контактующие поверхности покрыты адсорбированными молекулами газа, в котором располагались контакты до их замыкания. Молекулы газа могут вступать в химическую реакцию с материалом контактов, в результате чего на их поверхности возникают пленки с высоким удельным сопротивлением (до  $10^4$  Ом·м). Таким образом, результирующее переходное сопротивление контактов  $R_k$  может быть представлено как сумма сопротивления стягивания  $R_{CT}$  и сопротивления пленок  $R_{пл}$ .

Электрическое сопротивление стягивания:

$$R_{CT} = \frac{(1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot \theta_0) \cdot k}{(0,102 \cdot F)^m} = \frac{(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0043 \cdot 80) \cdot 0,14 \cdot 10^{-3}}{(0,102 \cdot 10000)^{0,6}} = 2,69 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}, \quad (14)$$

где  $k$  – коэффициент переходного сопротивления, выбирается по [2, стр. 99]. Для контакта медь-медь  $k = 0,14 \cdot 10^{-3}$ ;  $F = P = 10000$  Н – по таблице 2;  $m = 0,5 \dots 0,7$  – принимаем  $m = 0,6$ .

Электрическое сопротивление контактного соединения:

$$R_M = k_{кп} \cdot \rho_\theta \cdot \frac{l}{S} = 0,55 \cdot 2,18 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{20 \cdot 10^{-3}}{140 \cdot 10^{-6}} = 1,71 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}, \quad (15)$$

где  $k_{кп} = 0,5 \dots 0,63$  – коэффициент концов проводников, принимаем  $k_{кп} = 0,55$ ;  $l$  – длина перекрытия концов соединения проводов.

Суммарное переходное сопротивление контакта

$$R_K = R_{CT} + R_M = (2,69 + 1,71) \cdot 10^{-6} = 4,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.} \quad (16)$$

Падение напряжения в одном контактном соединении

$$U_K = R_K \cdot I_H = 4,4 \cdot 10^{-6} \cdot 400 = 1,76 \text{ мВ.} \quad (17)$$

Напряжение рекристаллизации (размягчение) контактов из меди составляет  $U_{рек} = 90...130$  мВ падение напряжения ниже  $U_{рек}$ , следовательно, условие выполняется.

В качестве контактов для контактных соединений токоведущего контура выбраны шины размерами  $a = 7$  мм,  $b = 20$  мм,  $S = 140$  мм<sup>2</sup>, материал шины – медь твердотянутая марки М1, твердая по ГОСТ-859-66. Для крепления шины на скобу выбраны 2 болта М12, материал болта – сталь 10.

### 2.3 Расчет коммутирующих контактов

Для получения приемлемой износостойкости контактов целесообразно применить твердотянутую кадмиевую медь марки МК-тв. С целью увеличения механической прочности и износостойкости контактов сечение контактов должно быть больше сечения вводных шин. Удельное нажатие должно быть 15-25 гс/А. Стандартные размеры контактов по [2, гл. 5] принимаем следующие: подвижный контакт — 12x25 мм, неподвижный контакт — 10x30 мм.

Силу нажатия контактов  $F_K$ , необходимую для того, чтобы температура на поверхности контактов не превышала допустимую, рассчитывают по формуле:

$$F_K = I_H^2 \cdot \frac{B \cdot \pi \cdot H_V}{16 \cdot \lambda^2 \cdot (\arccos \frac{T_K}{T_a})^2} = 400^2 \cdot \frac{2,3 \cdot 10^{-8} \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^8}{16 \cdot 390^2 \cdot (\arccos \frac{353}{363})^2} = 66,5 \text{ Н,} \quad (18)$$

где  $B$  – число Лоренца, принимаем  $B = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ В}^2/\text{°C}^2$ ;  $H_V = (80...120) \cdot 10^7 \text{ Па}$  – твердость по Виккерсу, принимаем  $H_V = 9 \cdot 10^8 \text{ Па}$ ;  $\lambda = 390 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$  – коэффициент удельной теплопроводности, принимаем;  $T_a = 80 + 273 + 10 = 363 \text{ К}$  – температура точки касания;  $T_K = 80 + 273 = 353 \text{ К}$  – температура контакта.

Для линейного контакта необходимая сила контактного нажатия

$$F_n = 2 \cdot F_k = 2 \cdot 66,5 = 133 \text{ Н.} \quad (19)$$

Согласно опытным данным сила контактного нажатия равна

$$F_n = f_k \cdot I_n = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 10 \text{ кгс} = 98 \text{ Н,} \quad (20)$$

где  $f_k = 25 \cdot 10^{-3}$  кгс/А – удельное нажатие для меди [2, табл. 5-7].

Для дальнейших расчетов выбираем наибольшее значение необходимой силы контактного нажатия  $F_n = 133 \text{ Н}$ .

$$F_{к.н.} = (0,4 - 0,75) \cdot F_n = 0,6 \cdot 133 = 79,8 \text{ Н.} \quad (21)$$

Электродинамические силы в контактах:

$$F_э = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I_{кз}^2 \cdot \ln \frac{S_{кд}}{S_0} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 4000^2 \ln \frac{10 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-7}} = 23,4 \text{ Н,} \quad (22)$$

$$S_0 = \frac{F_k}{\sigma_{см}} = \frac{66,5}{49050} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2, \quad (23)$$

где  $S_{кд}$  - площадь сечения контакт-детали;  $S_0$  – площадь в месте касания контактов (сечение площадки смятия);  $\sigma_{см} = 49050 \dots 50500 \text{ Н/см}^2$  - напряжение смятия для меди, принимаем  $\sigma_{см} = 49050 \text{ Н/см}^2$ .

Из расчетов видно, что электродинамические усилия в контактах в режиме короткого замыкания меньше, чем силы контактной пружины, означает, что самопроизвольного размыкания контактов не произойдет.

Определение переходного сопротивления:

переходное сопротивление по опытным данным, согласно [2, рис. 5-9]:

$$R_k = 70 \cdot 10^{-6} \text{ Ом,}$$

переходное сопротивление по эмпирической формуле:

$$R_k = \frac{k}{F_n^m} = \frac{0,14 \cdot 10^{-3}}{(0,102 \cdot 79,8)^{0,6}} = 39,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.} \quad (24)$$

Для дальнейших расчетов выбираем наибольшее значение  $R_k = 70 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ .

Падение напряжения в переходном сопротивлении

$$U_k = I_n \cdot R_k = 400 \cdot 70 \cdot 10^{-6} = 0,028 \text{ В.} \quad (25)$$

Значение  $U_k = 28 \text{ мВ}$  приемлемо по [1, стр.108].

Определим выполнения условия температуры контактной площадки

$$T_a = \frac{T_k}{\cos \frac{I_H \cdot \sqrt{B \cdot \pi \cdot H_v}}{4\lambda \cdot \sqrt{F_H}}} = \frac{353}{\cos \frac{400 \cdot \sqrt{2,3 \cdot 10^{-8} \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^8}}{4 \cdot 390 \cdot \sqrt{79,8}}} = \quad (26)$$

$$= 354,6 K = 81,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Условие  $T_a - T_k = 81,6 - 80 = 1,6 \text{ } ^\circ\text{C} < 12 \text{ } ^\circ\text{C}$  выполняется.

Начальный ток сваривания контактов:

$$I_{св} = A \cdot \sqrt{F_H} \cdot \sqrt{f_{к.пл}} = 428 \cdot \sqrt{133} \cdot \sqrt{2,5} = 7804,4 \text{ А}, \quad (27)$$

где

$$A = \sqrt{\frac{32 \cdot \lambda \cdot \theta_{пл} \cdot (1 + \frac{1}{3} \cdot \alpha \cdot \theta_{пл})}{\pi \cdot H_v \cdot \rho_0 \cdot (1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot \theta_{пл})}} = \sqrt{\frac{32 \cdot 390 \cdot 1083 \cdot (1 + \frac{1}{3} \cdot 0,0043 \cdot 1083)}{\pi \cdot 9 \cdot 10^8 \cdot 1,62 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0043 \cdot 1083)}} = 428 \text{ А/Н}^{0,5};$$

$f_{к.пл} = 2 \div 4$ , принимаем  $f_{к.пл} = 2,5$ ;  $\theta_{пл} = 1083 \text{ } ^\circ\text{C}$  – температура плавления меди.

По полученным значениям  $I_{кз} = 4000 \text{ А} < I_{св} = 7804,4 \text{ А}$  можно сделать вывод, что при коротком замыкании контакты не приварятся, так как ток короткого замыкания меньше минимального тока сваривания.

Принимаем, что износ каждого контакта может составить 0,7 по [2, гл. 5] от его первоначальной толщины, рассчитаем объем износа подвижного и неподвижного контакта:

$$V_{изн1} = 0,7 \cdot 12 \cdot 25 \cdot 35 \cdot 10^{-9} = 7,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3, \quad (28)$$

$$V_{изн2} = 0,7 \cdot 10 \cdot 30 \cdot 35 \cdot 10^{-9} = 6,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (29)$$

Масса износа составит:

$$M_{изн} = (V_{изн1} + V_{изн2}) \cdot \gamma = (7,88 + 9,45) \cdot 10^{-6} \cdot 8900 = 0,154 \text{ кг}, \quad (30)$$

где  $\gamma = 8,9 \text{ г/см}^3$  – плотность меди [1, стр.63].

Удельный износ по [1, стр. 65] при размыкании  $k_p = 0,25 \text{ г/А}^2$ , при замыкании  $k_z = 0,25 \text{ г/А}^2$ . Ток размыкания и замыкания:

$$I_p = I_z = 2,5 \cdot I_H = 2,5 \cdot 400 = 1000 \text{ А}. \quad (31)$$

Износ массы за один цикл составит:

$$\begin{aligned} g_p + g_3 &= (k_p \cdot I_p^2 + k_3 \cdot I_3^2) \cdot k_{\text{нер}} \cdot 10^{-9} = \\ &= (0,25 \cdot 1000^2 + 0,25 \cdot 1000^2) \cdot 1,2 \cdot 10^{-9} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ кг,} \end{aligned} \quad (32)$$

где  $k_{\text{нер}} = 1,2$  – коэффициент неравномерности, учитывающий разброс величин износа массы [1, стр.64].

Категория применения DC3.

Коммутация износостойкость контактов:

$$N = \frac{M_{\text{изн}}}{g_p + g_3} = \frac{0,154}{6 \cdot 10^{-4}} = 0,26 \cdot 10^6 \text{ циклов.} \quad (33)$$

## 2.4 Расчет дугогасительного устройства

В контакторах для гашения дуги применяются камеры с продольными щелями и поперечным магнитным полем (Рисунок 10). Гашение дуги постоянного тока в камере с продольной щелью поперечном магнитном поле применяется в том случае, когда не удастся погасить дугу механическим растягиванием и за счет электродинамических усилий, возникающих вследствие возникновения магнитного поля тока, протекающего по деталям токоведущего контура и дуги. Камера имеет две боковые стенки *I* из дуго-нагревостойкого электроизоляционного материала, охватывающие коммутирующие контакты *2*. Расстояние между стенками (щель) в месте расположения контактов —  $\delta_{\text{щ.к.}}$ . К внешней поверхности стенок прилегают пластины–полюсы *3* электромагнитной системы, имеющей сердечник *4* и дугогасительную катушку *5*. Расстояние между пластинами–полюсами —  $\delta_{\text{п}}$ . Создаваемый магнитный поток  $\Phi_0$  проходит между пластинами–полюсами в зоне образования и горения дуги. При размыкании контактов *2* между ними образуется дуга *I*. Вследствие возникающих сил *F* (от магнитного поля и электродинамических усилий контура тока) дуга *II* удлиняется, входит в узкую щель  $\delta_{\text{щ}}$ , при этом ее опорные точки перемещаются по дугогасительным рогам *6*. Положение дуги *III* соответствует предельной расчетной ее длине  $l_{\text{прд}}$  в камере. С целью

сокращения габаритов камеры и аппарата, а также снижения массы и экономии материалов, в ряде случаев допускают выход дуги *III* из камеры. В этом случае расчетная предельная длина  $l'_{прд}$  дуги будет другая – большая (размеры выхода пламени вперед  $B_{вп}$  и вверх  $B_{врх}$ ).

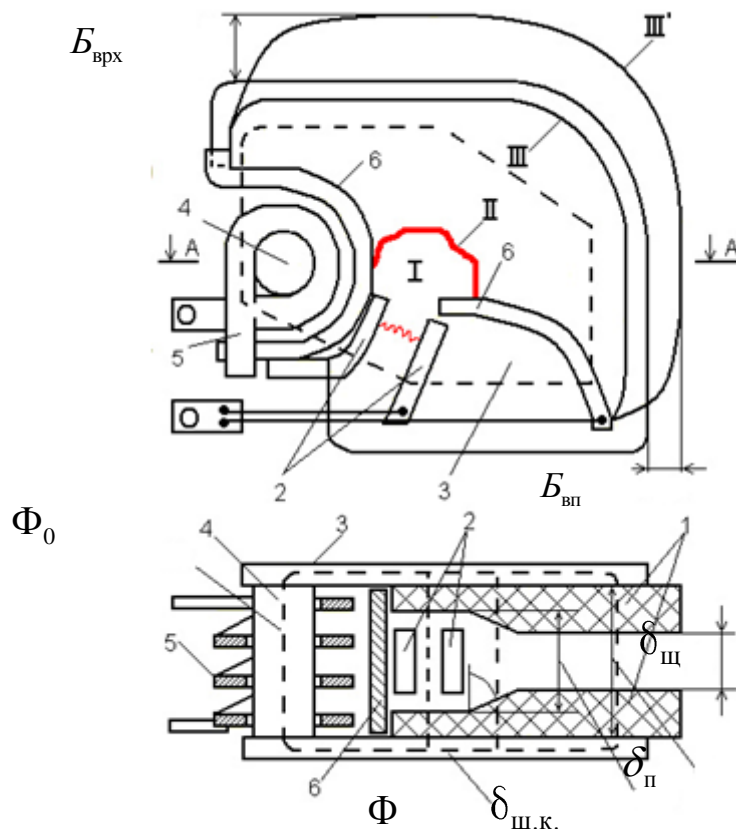


Рисунок 10 – Схема дугогасительной камеры с системой магнитного дутья

В соответствии с исходными данными определим следующие значения:  
отключаемое напряжение

$$U_{отк} = 1,1 \cdot U_n = 1,1 \cdot 220 = 242 \text{ В}, \quad (34)$$

предельный отключаемый ток

$$I_{пред} = 10 \cdot I_n = 10 \cdot 400 = 4000 \text{ А}, \quad (35)$$

время горения дуги  $t_{горения} = 0,1 \text{ с}$ ,

условие максимального напряжения [1, табл.15]

$$U_{max} \leq U_{исп} = 2000 \text{ В}.$$

Необходимый растров контактов при токе 400А принимается  $l_k = 250$  мм в соответствии с [1, рис. 16]. Выбранный растров контактов при свободной дуге намного больше приемлемых значений, поэтому необходимо применить специальные дугогасительные устройства. При выборе дугогасительного устройства была выбрана система с магнитным дутьем и камерой с продольной щелью (Рисунок 10). В качестве материала стенок камеры принимаем отожженную сталь марки 20. Далее в расчетах растров контактов следует принимать равным  $l_k = 20$  мм.

Предварительно производится расчет для камеры с узкой щелью  $\delta_{щ} = 2$  мм. . Напряженность поля при  $I_n = 400$  А при условии минимального износа контактов можно принять  $H = 50 \div 100$  А/см [по 2, рис. 6-14]. Это позволит рассчитать число витков без учета сопротивления стали. Размеры катушки последовательного дутья принимаем равными размерам токоведущей шины  $a = 7$  мм,  $b = 20$  мм.

Основные параметры дуги определяются при отключении критического, предельного и номинального токов.

Критический ток по [1, рис. 15] при  $l_k = 20$  мм и  $U_{отк} = 242$  В равен  $I_{кр} = 4$  А. Номинальный ток равен  $I_n = 400$  А. Предельный ток равен  $I_{пред} = 4000$  А.

В процессе гашения дуги величина каждого из вышеперечисленных токов изменяется в интервале от  $I_{отк}$  до 0, т.к. по заданию режим работы двигателя - продолжительный, следовательно, в расчетные формулы следует подставлять среднее значение отключаемого тока  $I_d = 0,5 \cdot I_{отк}$ .

В качестве примера ниже приводится расчет при  $I_{отк} = 4$  А.

Для наглядного доказательства условия гашения дуги строится вольтамперная характеристика дуги, одна из точек которой должна касаться (или проходить очень близко) реостатной характеристики. Для данного



построения необходимо определить скорость движения дуги  $v_{\delta}$  и напряжение на дуге  $U_{\delta}$  при нескольких значениях отключаемого тока.

Скорость движения дуги при узкой щели находится:

$$v_{\delta} \approx (6 + \delta_{щ}) \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot I_{\delta} \cdot H}{\delta_{щ}}} = (6 + 0,2) \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 1,17}{0,2}} = 67 \text{ см/с}, \quad (36)$$

где  $H = 1,17$  А/см — напряженность магнитного поля системы магнитного дутья по [2, рис. 1П-2].

Проведем проверку предварительно выбранных параметров, найдя диаметр дуги и сравнив его с размером щели:

$$d_{\delta} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{I_{отк}}{20 + v_{\delta}}} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{4}{20 + 67}} = 0,24 \text{ см}. \quad (37)$$

Так как диаметр дуги  $d_{\delta} = 2,4$  мм больше размера щели  $\delta_{щ} = 2$  мм щель можно считать узкой.

Напряжение дуги находится по формуле 37, результатом расчетов являются графики на рисунках 11-13:

$$U_{\delta} = l_{\delta} \cdot \left( \frac{92}{\sqrt{I_{\delta}}} + 0,312 \cdot \frac{\sqrt{I_{\delta}}}{\delta_{щ}^{2/3}} + 7 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt[3]{\frac{v_{\delta} \cdot I_{\delta}}{\delta_{щ}^2}} \right), \text{ В}. \quad (38)$$

Реостатная характеристика

$$U_p = U_{отк} \cdot \left( 1 - \frac{I_{\delta}}{I_{отк}} \right), \text{ В}, \quad (39)$$

где  $U_{отк}$  — отключаемое напряжение;  $I_{\delta} = 0 \dots I_{отк}$ .

Таким же образом данные параметры рассчитываются при остальных перечисленных отключаемых токах. На рисунках 11 — 13 изображены реостатные характеристики сети и вольтамперные характеристики дуги при отключаемых токах  $I_{кр}$ ,  $I_n$ ,  $I_{пред}$  соответственно.

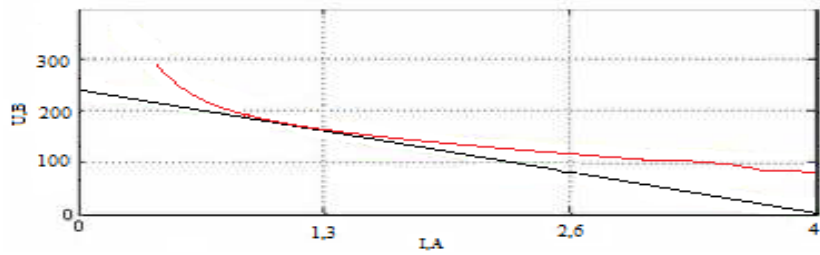


Рисунок 11 – Реостатная характеристика сети и вольтамперная характеристика дуги при  $I_{кр}, l_{д.кр} = 3,2$  см

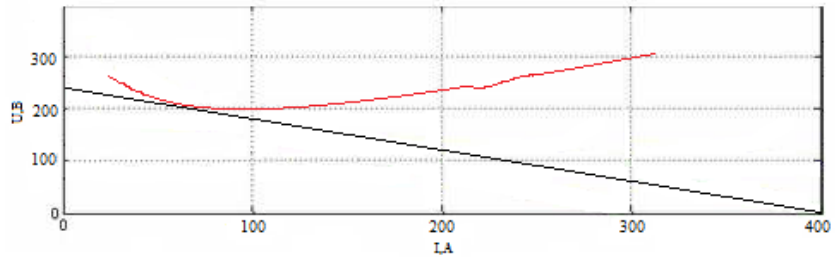


Рисунок 12 – Реостатная характеристика сети и вольтамперная характеристика дуги при  $I_{н}, l_{д.кр} = 14$  см

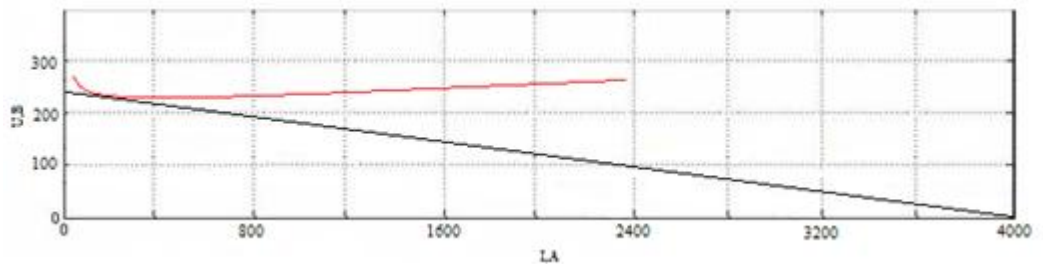


Рисунок 13 – Реостатная характеристика сети и вольтамперная характеристика дуги при  $I_{пред}, l_{д.кр} = 19$  см

Время горения дуги:

$$t_{\delta} = \frac{l_{\delta.кр}}{\sqrt{v_{\kappa}^2 + 9 \cdot v_{\delta}^2}} = \frac{19}{\sqrt{130^2 + 9 \cdot 67^2}} = 0,079 \text{ с} \leq 0,1 \text{ с}, \quad (40)$$

где  $v_{\kappa} = 130$  см/с — средняя скорость расхождения контактов;  $l_{\delta.кр} = 19$  см — критическая длина дуги при отключаемом токе  $I_{пред}$ .

Наиболее удаленная от коммутирующих контактов часть дуги:

$$h_{\delta} = v_{\delta} \cdot t_{\delta} = 67 \cdot 0,079 = 5,38 \text{ см}. \quad (41)$$

### Уровень перенапряжения

$$U_{\max} = U_{\text{отк}} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot L \cdot I_{\text{от}}}{U_{\text{от}} \cdot t_{\text{д}}}\right) = 242 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 0,73 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{242 \cdot 0,013}\right) = 243 \text{ В}, \quad (42)$$

$$L = \frac{4 \cdot U_{\text{н}}}{p \cdot n \cdot I_{\text{н}}} = \frac{4 \cdot 220}{1 \cdot 3000 \cdot 400} = 0,73 \text{ мГн}, \quad (43)$$

где  $L$  — индуктивность отключаемой цепи;  $p = 1$  — количество полюсов двигателя;  $n = 3000$  об/мин — скорость вращения двигателя.

Из расчетов видно, что выполняется условие:

$$U_{\max} \leq U_{\text{исп}}, \\ U_{\max} = 243 \text{ В} < 2000 \text{ В},$$

где  $U_{\text{исп}} = 2000$  В — испытательное напряжение по [1, табл. 15]

Размеры дугогасительной камеры должны быть такими, чтобы при предельном токе 4000 А дуга при ее критической длине  $l_{\text{д.кр}} = 19$  см разместилась внутри камеры. При этом наиболее удаленная от контактов часть дуги будет находиться на расстоянии от них  $h_{\text{д}} = 53,8$  мм.

Высота камеры

$$b_{\text{д}} = a + l_{\text{к}} + 2 \cdot b + h_{\text{д}} / \sqrt{2} = 25 + 20 + 2 \cdot 25 + 54 / \sqrt{2} = 122 \text{ мм}. \quad (44)$$

Длина камеры принимается равной высоте камеры  $a_{\text{д}} = 122$  мм.

Для обеспечения безопасности использования, рекомендуется увеличить расчетные размеры камеры на 35 %. Получаем реальные размеры камеры (длину и высоту) равные 170 мм. В качестве материала камеры выбираем твердую керамику.

Масса и объем камеры:

$$S_{\text{д}} = b_{\text{д}} \cdot (h_{\text{д}} - \delta_{\text{щ}}) - (l_{\text{к}} + 2 \cdot a) \cdot \delta_{\text{щ.к}} - 0,25 \cdot (\delta_{\text{щ.к}}^2 - \delta_{\text{щ}}^2) \cdot \text{ctg} \alpha = \\ = 170 \cdot (54 - 2) - (20 + 2 \cdot 25) \cdot 20 - 0,25 \cdot (20^2 - 2,4^2) \cdot \text{ctg} 30 = \\ = 6260 \text{ мм}^2, \quad (45)$$

$$V_{\text{д}} = a_{\text{д}} \cdot S_{\text{д}} = 170 \cdot 7260 = 1234200 \text{ мм}^3 = 1234,2 \text{ см}^3, \quad (46)$$

$$m_{\text{д}} = V_{\text{д}} \cdot \gamma = 1234,2 \cdot 2,3 = 2838 \text{ г}, \quad (47)$$

где  $\gamma = 2,3$  кг/м<sup>3</sup> — плотность твердой керамики.

Время горения дуги при предельном токе равно времени растяжения дуги до  $l_{д.кр}$  и времени  $t_{нл}$  гашения пламени. Если принять  $t_{нл} = 0,01$  с, то  $t_2 = t_д + t_{нл} = 0,079 + 0,01 = 0,089$  с. Это время приемлемо с точки зрения износа камеры, так как оно меньше 0,1 с.

### 3 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

#### 3.1 Кинематический расчет

На рисунке 14 приведена кинематическая схема и кинематическая характеристика перемещений механизма контактора. Во включенном положении  $\varphi_{вк} = 0^\circ$ , при касании контактов  $\varphi_{кас} = 3,5^\circ$  и при отключенном положении  $\varphi_{от} = 15^\circ$ . Ход контактов  $x$  складывается из раствора  $p$  и провала  $n$ :  $x = p + n$ , ход якоря  $\delta$  — из приведенных к оси сердечника этих величин:  $\delta = p' + n'$ .

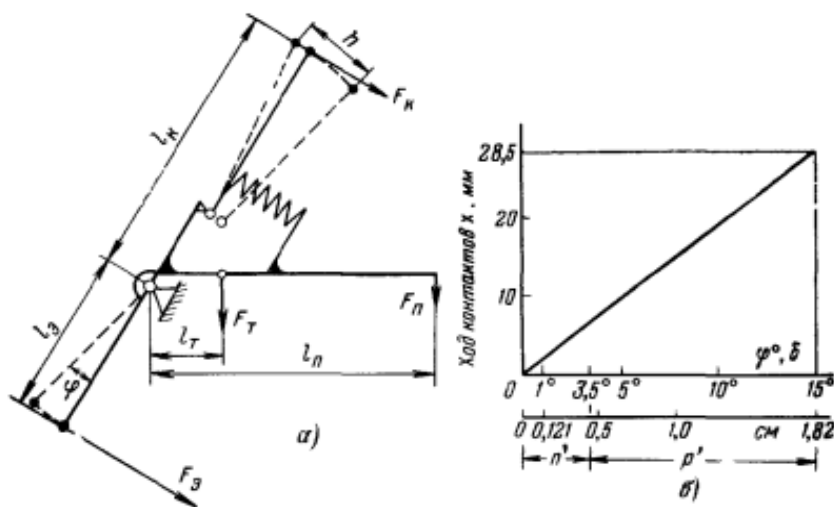


Рисунок 14 — кинематическая схема (а) и кинематическая характеристика (б)

На подвижную часть контактора действуют силы, векторы которых указаны на рисунке 14,а. Механические силы массы и пружин являются противодействующими силами электромагнитной силе при включении контактора и действующими при отключении его. На рисунке 15 представлена характеристика этих сил. Неуравновешенная часть силы тяжести в

отключенном состоянии  $F_{T.OT} = 9,5 \text{ Н}$  действует на плече  $l_{T.OT} = 5 \text{ см}$ . Во включенном состоянии часть силы  $F_{T.BK} = 19,5 \text{ Н}$  и  $l_{T.OT} = 5,3 \text{ см}$ .

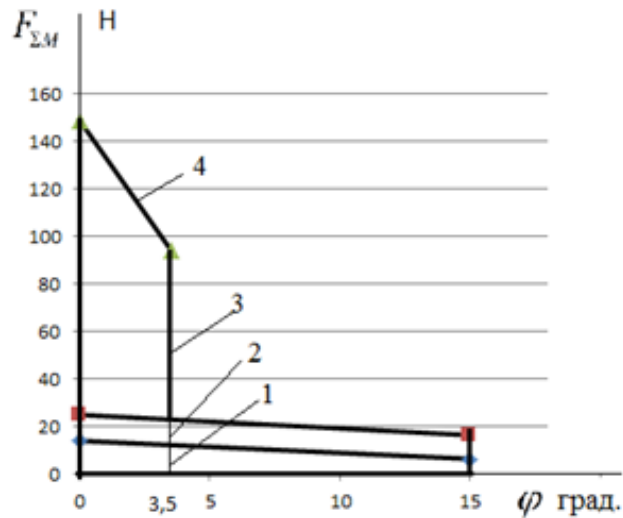


Рисунок 15 — Характеристика приведенных к оси сердечника электромагнита механических сил:

1 – неуравновешенная часть силы тяжести; 2 – сила отключающей пружины; 3 – сила контактной пружины; 4 – характеристика суммы сил.

Коэффициент допустимых отклонений противодействующих сил принят  $k_{д.с} = 1,5$ . Приведенные к оси сердечника электромагнита (плечо  $l_э = 7,4 \text{ см}$ ) эти силы следующие:

$$F'_{T.OT} = \frac{F_{T.OT} \cdot l_{T.OT}}{l_э} = \frac{9,5 \cdot 5}{7,4} = 6,4 \text{ Н}, \quad (48)$$

$$F'_{T.BK} = \frac{F_{T.BK} \cdot l_{T.BK}}{l_э} = \frac{19,5 \cdot 5,3}{7,4} = 14 \text{ Н}. \quad (49)$$

Силы отключающей пружины при отключенном и включенном состояниях:

$$F'_{П.OT} = \frac{F_{П.OT} \cdot l_{П.OT}}{l_э} = \frac{5,86 \cdot 12,6}{7,4} = 10 \text{ Н}, \quad (50)$$

$$F'_{П.BK} = \frac{F_{П.BK} \cdot l_{П.BK}}{l_э} = \frac{6,45 \cdot 12,6}{7,4} = 11 \text{ Н}. \quad (51)$$

Силы контактной пружины (из раздела коммутирующие контакты) в момент касания  $F_{К.К}$  и во включенном состоянии  $F_{К.БК}$  следующие:

$$F'_{K.K} = \frac{F_{к.н} \cdot l_{к.от}}{l_{\Sigma}} = \frac{79,8 \cdot 12,5}{7,4} = 135 \text{ Н}, \quad (52)$$

$$F'_{K.BK} = \frac{F_n \cdot l_{к.вк}}{l_{\Sigma}} = \frac{133 \cdot 12}{7,4} = 216 \text{ Н}. \quad (53)$$

Момент инерции подвижной части контактора относительно оси ее вращения. При рассмотрении конструкции легко сделать заключение, что большинство элементов можно рассматривать как стержни, ось вращения которых расположена на конце стержня, а некоторые элементы (контактную пружину, ее упор, скобу под контактом) можно рассматривать как массу, сосредоточенную в центре тяжести элемента. Исходя из этого допущения, рассчитаны моменты инерции правой и левой частей якоря, контакта, части гибкого шунта и скобы контактной пружины по известной из теоретической механики формуле для стержня, ось вращения которого проходит через его конец:  $J = 1/3ml^2$ , где  $m, l$  – масса и длина детали или ее части.

Моменты инерции правой (нерабочей)  $J_{я.п}$  и левой  $J_{я.л}$  рабочей частей якоря вместе с его скобой

$$J_{я.п} = \frac{1 \cdot 0,142^2}{3} = 0,0067 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (54)$$

$$J_{я.л} = \frac{1,05 \cdot 0,115^2}{3} = 0,0046 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (55)$$

Момент инерции контакта (разность моментов двух стержней):

$$J_k = \frac{0,366 \cdot 0,135^2}{3} - \frac{0,12 \cdot 0,04^2}{3} = 0,0021 \text{ кг/м}^2. \quad (56)$$

Момент инерции контактной пружины определяется по формуле для сосредоточенной массы  $m$ , расположенной от оси вращения на расстоянии  $r$ :  $J_{к.п} = mr^2 = 0,025 \cdot 0,085^2 = 0,00018 \text{ кг/м}^2$ . Аналогично рассчитываются моменты инерции остальных элементов. Момент инерции всей подвижной части равен арифметической сумме моментов инерции всех ее элементов и составляет  $J_{\Sigma} = 0,016 \text{ кг/м}^2$ .

### 3.2 Динамика механизма

Расчет характеристик и параметров производится для процесса отключения контактора. При размыкании цепи тока, протекающего в катушке электромагнита, магнитный поток исчезает не мгновенно. Якорь начинает двигаться в тот момент, когда сила, развиваемая электромагнитом, становится меньше суммы сил при  $\varphi=0$  (Рисунок 15). Вследствие небольшой величины силы и незначительного времени действия остаточного магнитного потока, а также в связи с трудностями этого расчета о рассматриваемом примере сила, создаваемая остаточным потоком, не учитывается. Это приводит к несколько завышенному значению скорости отключения и несколько заниженному времени отключения.

Движущими силами при отключении является сумма сил  $F'_\Sigma$ , выраженных характеристикой 4 (Рисунок 15) В качестве уравнения движения можно использовать уравнение кинетической энергии, возникающей при повороте подвижной части контактора. Второй член левой части уравнения равен нулю вследствие того, что начальная угловая скорость  $\omega_0$  при  $\varphi = 0$ :

$$E_{K\varphi} = \frac{J_\Sigma \cdot \omega_\varphi^2}{2} = \int_0^\varphi M'_\Sigma \cdot d\varphi = \int_0^\delta F'_\Sigma \cdot d\delta = \sum_0^{15} s_\varphi \cdot \mu_F \cdot d\delta, \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2, \quad (57)$$

где  $E_{K\varphi}$  – кинетическая энергия, накопления подвижной частью контактора при ее движении от  $0^\circ$  до  $\varphi^0$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2$ ;  $J_\Sigma = 0,016 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  — угловая скорость при угле  $\varphi$  (одна из искомых величин),  $1/\text{сек.}$ ;  $M'_\Sigma = F'_\Sigma \cdot l_\Sigma$  – момент суммы сил, приведенных к оси сердечника электромагнита,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ;  $s_\varphi$  – площадь, образованная характеристикой сил на участке при повороте от  $0^\circ$  до  $< \varphi^0$  и соответствующими ординатами,  $\text{м}$ .

Определение угловой скорости, а затем времени движения в рассматриваемом примере удобно выполнить графо-аналитическим методом.

Кинематическая энергия. По характеристике суммы движущих сил  $F'_\Sigma$  (Рисунок 15) строится кривая нарастания кинетической энергии (Рисунок 16, а). Рассчитывается величина ее приращения на  $1^\circ$  поворота и это приращение

прибавляется к сумме предыдущих приращений. Площадь рисунок 16 разделяется на 15 площадок, основания которых равны  $1^\circ$ .

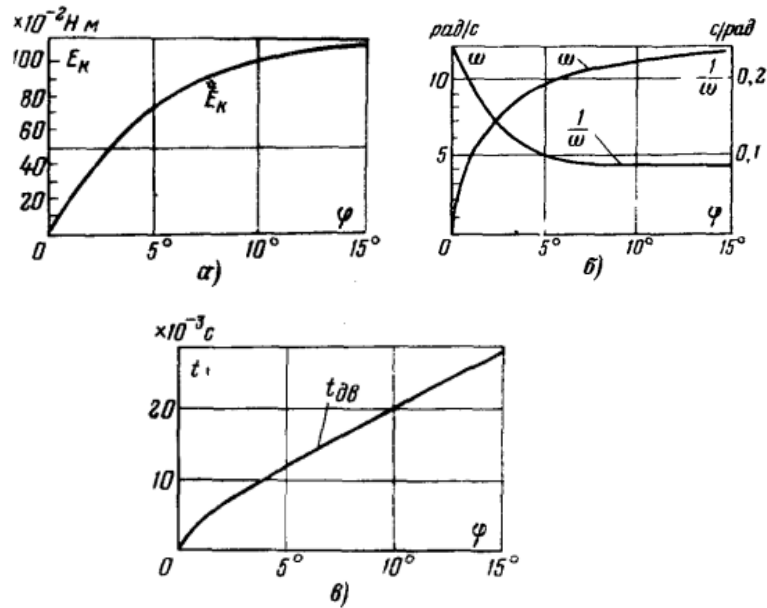


Рисунок 16 — Графо-аналитический расчет угловой скорости и времени движения подвижной части контактора при его отклонении

Величина воздушного зазора электромагнита, соответствующая  $1^\circ$  поворота якоря, равна:

$$\delta = \frac{2\pi l_{\Sigma} \cdot 1}{360} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 7,4 \cdot 1}{360} = 0,121 \text{ см.} \quad (58)$$

Кинетическая энергия, возникающая при повороте от 0 до  $1^\circ$ , от  $1$  до  $2^\circ$  (и так далее до  $15^\circ$ ), и суммарная энергия:

$$E_{K01} = s_{01} = F'_{\Sigma 01} \cdot \delta_{01} = 143 \cdot 0,121 \cdot 10^{-2} = 19,9 \cdot 10^{-2} \text{ Н,} \quad (59)$$

$$E_{K12} = s_{12} = F'_{\Sigma 12} \cdot \delta_{12} = 125 \cdot 0,121 \cdot 10^{-2} = 18,45 \cdot 10^{-2} \text{ Н,} \quad (60)$$

$$E_{K02} = E_{K01} + E_{K12} = (19,9 + 18,45) \cdot 10^{-2} = 38,35 \cdot 10^{-2} \text{ Н.} \quad (61)$$

Значения величин приведены в таблице 2. По этим значениям построена кривая на рисунке 16, б.



Таблица 2 — Данные к расчету динамики механизма

Угол $\varphi$ , град.	Кинетическая энергия, $10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{ м}$		Угловая скорость и ее обратная величина		Время движения $t_{\text{ДВ}}, \text{ мс}$	
	На $1^0$	Нарастаю- щий итог	$\omega, \text{ рад/с}$	$1/\omega, \text{ с/рад}$	За $1^0$	Нарастаю- щий итог
1	19,9	19,9	5,0	0,2	3,5	3,5
2	18,45	38,35	6,96	0,144	2,5	6,0
3	17,1	55,5	8,35	0,12	2,1	8,1
4	15,59	71,1	9,45	0,106	1,9	10,0
...	...	...	...	...	...	...
15	2,57	108,9	11,7	0,0855	1,5	27,9

Угловая скорость  $\omega$ . Из выражения  $E_K = 0,5 \cdot I \cdot \omega^2$  средняя угловая скорость от 0 до  $1^0$  (при  $0,5^0$ ) и от 1 до  $2^0$  (при  $1,5^0$ ):

$$\omega_{01} = \sqrt{\frac{2E_{K01}}{J_{\Sigma}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 19,9}{0,016}} = 5 \text{ рад/с}, \quad (62)$$

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{2E_{K12}}{J_{\Sigma}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 38,35}{0,016}} = 6,95 \text{ рад/с}. \quad (63)$$

и так далее до  $15^0$  (Таблица 2).

Линейная скорость коммутирующего контакта. Для расчета дугогашения средняя скорость подвижного контакта на плече в месте его отрыва от неподвижного, т. е. там, где образуется дуга (между  $3,5$  и  $15^0$ )  $v_p = \omega \cdot l_{\text{с}} = 0,5 \cdot (9,45 + 11,7) \cdot 12,5 = 130 \text{ см/с}$  (скорость завышена).

Угловое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{M'_{\Sigma}}{J_{\Sigma}} = \frac{F'_{\Sigma} \cdot l_{\text{с}}}{J_{\Sigma}} = P'_{\Sigma}, \text{ рад/с}. \quad (64)$$

Время движения. Оно определяется из выражения для угловой скорости.

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \text{ рад/с}; \quad t = \int_0^{\varphi} \frac{d\varphi}{\omega} = \sum_0^{15} s_{\varphi} \cdot \mu_{1/\omega} \cdot \mu_{\omega}, \text{ с}. \quad (65)$$

где  $s_{\varphi}$  — площадь, образования кривой  $1/\omega = f(\varphi)$  и соответствующими ординатами. Эта кривая строится по кривой  $\omega = f(\varphi)$ .

Время движения от 0 до  $1^0$  (при  $0,5^0$ ), от 1 до  $2^0$  (при  $1,5^0$ ) и от 0 до  $2^0$ :

$$t_{01} = s_{01} = \frac{1}{\omega_{01}} \cdot \frac{2\pi l}{360} = \frac{1}{5} \cdot 0,0175 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}, \quad (66)$$

$$t_{12} = s_{12} = \frac{1}{\omega_{12}} \cdot \frac{2\pi l}{360} = \frac{1}{6,5} \cdot 0,0175 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}, \quad (67)$$

$$t_{02} = t_{01} + t_{12} = 3,5 \cdot 10^{-3} + 2,5 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ с}. \quad (68)$$

И далее до  $15^0$  (Рисунок 16, в).

Полное время отпадания  $t_{ОП}$  складывается из двух слагаемых:  $t_{ОП} = t_{ТР} + t_{ДВ}$ . Здесь  $t_{ТР}$  – время трогания, необходимое для спада магнитного потока, когда электромагнитная сила становится меньше отключающей силы  $F'_{\Sigma 0}$ . Оно должно определяться в процессе расчета электромагнита. В рассматриваемом контакторе оно будет 0,09—0,10 с. При этом  $t_{ОП} = 0,12 \div 0,13$  с.

Погашение кинетической энергии. Образовавшаяся кинетическая энергия в момент окончания движения вызывает удар подвижной части о упорную планку из гетинакса, которая поглощает часть энергии. Остальная часть воспринимается магнитопроводом и другими деталями контактора и вызывает его сотрясение.

## 4 РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

Общая задача расчета магнитной цепи заключается в определении его оптимальных параметров. Главной задачей является расчет и построение характеристики электромагнитной силы (тяговой), согласование ее с характеристикой противодействующих при включении сил (механической) и определение необходимой намагничивающей силы обмотки с расчетом параметров катушки.

Конструкция электромагнита с основными размерами деталей магнитопровода приведена на рисунке 17. Исполнение открытое. Характеристика противодействующих при включении сил приведена на

рисунке 15. Исходной критической величиной силы является приведенная к оси сердечника катушки сумма противодействующих сил при наибольшем рабочем зазоре  $F'_{Т.ОП} + F'_{П.ОП} = 6,4 + 10 = 16,4$  Н . Напряжение цепи управления (на обмотке катушки) 220 В. Класс изоляции Е с допустимой температурой обмотки 125°С. Диаметр сердечника скорректирован в сторону увеличения.

Размеры катушки полностью зависят от величины намагничивающей силы, необходимой для срабатывания  $F_{СР}$ . Эта величина складывается из падений магнитного потенциала: в рабочих зазорах  $F_{\delta}$ , в нерабочих зазорах  $F_{н.\delta}$  и в стальных частях магнитопровода  $F_C$ . В рационально спроектированных электромагнитах намагничивающая сила, приходящаяся на нерабочие зазоры при отпущенном якоре, составляет от 5 до 15 %  $F_{СР}$ , приходящаяся же на сталь — от 10 до 20%  $F_{СР}$ . Поэтому можно записать уравнение магнитной цепи при критическом рабочем зазоре отпущенного якоря:

$$F_{СР} = F_{\delta} + F_{н.\delta} + F_C = (1,2 - 1,6) \cdot F_{\delta} = 1,6 \frac{B_{\delta,om} \cdot \delta}{\mu_0} = 1,6 \frac{1,12 \cdot 0,0182}{12,56 \cdot 10^{-7}} = 22938 \text{ Н.} \quad (69)$$

Площадь поперечного сечения обмотки  $s_{об}$  и площадь «окна» магнитопровода, необходимую для размещения катушек, можно определить по уравнению, связывающему значение намагничивающей силы с размерами обмотки и плотностью тока при заданном режиме работы (тепловой фактор).

$$F_{СР} = k_{П.Т} j \cdot l_{об} \cdot D_{об.н} \cdot k_{з.об}, \text{ Н,} \quad (70)$$

где:  $j$  — плотность тока, для повторно- кратковременного режима принимаем  $j=3,5$ ;  $l_{об}$  — длина обмотки;  $D_{об.н}$  — ширина обмотки;  $k_{з.об}$  — коэффициент заполнения обмотки;  $k_{П.Т}$  — коэффициент перегрузки по току, принимаем  $k_{П.Т} = 1,6$  [1, стр. 413].

Сечение обмотки:

$$s_{об} = l_{об} \cdot D_{об.н} = \frac{k_{мак} \cdot F_{СР}}{k_{мин} \cdot k_{П.Т} \cdot j \cdot k_{з.об}} = \frac{1,1 \cdot 22938}{0,8 \cdot 1,12 \cdot 3,5 \cdot 0,71} = 11332 \text{ мм}^2, \quad (71)$$

где  $k_{мак}$  — принимаем  $k_{мак} = 1,1$ ;  $k_{мин}$  — принимаем  $k_{мин} = 0,8$ .

Коэффициент заполнения обмотки:

$$k_{з.об} = k_{\phi} \cdot k_{нер} \cdot k_{из} = 0,785 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,71, \quad (72)$$

где  $k_{\phi} = 0,785$  — коэффициент формы круглого провода;  $k_{нер} = 0,9$  — коэффициент неравномерности для круглого провода малого сечения;  $k_{из} = 1$  принимается для стали 10.

Основными расчетными параметрами при этом являются отношения для электромагнитов постоянного тока с цилиндрическими катушками  $d_c / D_{об.н}$  и  $l_{об} / D_{об.н}$ . Максимальную работу совершает электромагнит постоянного тока с внешним качающимся якорем и с катушкой напряжения при  $d_c / D_{об.н} = 0,57 \div 0,7$  и  $l_{об} / D_{об.н} = 1,5 \div 3$ .

Размеры катушки приведены в таблица 3. На рисунке 17 изображена конструкция обмотки с основными размерами.

Таблица 3 — Размеры катушки

Длина обмотки $l_{об}$ , мм	140
Наружный диаметр обмотки $D_{об.н}$ , мм	90
Внутренний диаметр обмотки $D_{об.в}$ , мм	60
Диаметр сердечника $d_c$ , мм	56
Диаметр сердечника с наконечником $d_{ПН}$ , мм	60
Высота наконечника $\Delta_{ПН}$ , мм	5
Ширина якоря $b_я$ , мм	91
Ширина скобы $b_{ск}$ , мм	126
Зазор между катушкой и скобой $\delta_{c-k}$ , мм	5
Диаметр болта $d_p$ , мм	20
Высота якоря $a_я$ , мм	10
Длина скобы $l_x$ , мм	156
Длина сердечник $l_c$ , мм	141

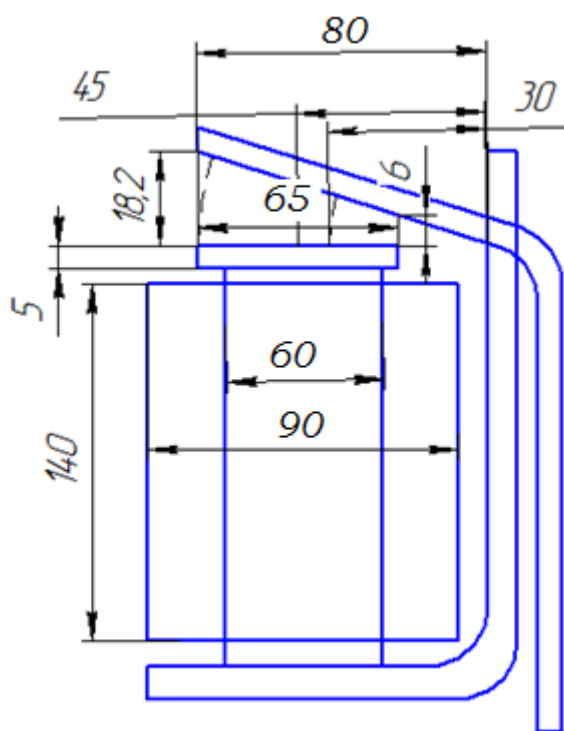


Рисунок 17 — Электромагнит контактора

Схема замещения рассматриваемого электромагнита одинакова с изображенной на рисунке 18.

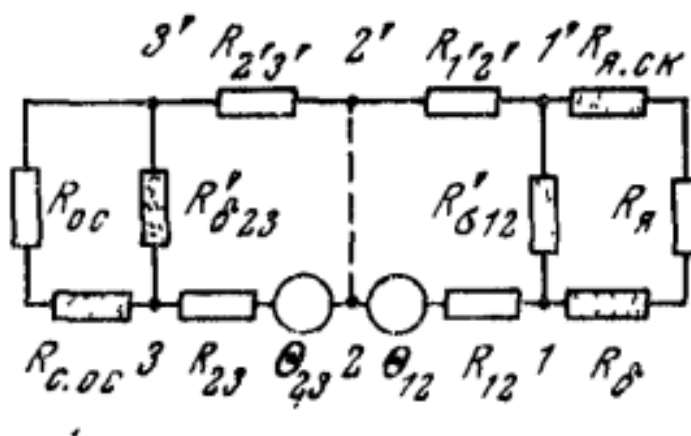


Рисунок 18— Схема замещения контактора постоянного тока

Расчет проводимостей воздушных зазоров производится при четырех величинах рабочего воздушного зазора  $b$ : 1,82; 1,22; 0,60 и 0,01 см.

Проводимость рабочего зазора определяется по кривым удельных проводимостей, полученных на основании обработки экспериментальных данных [2, табл. 11-4].

$$G_{\delta} = G_X + G'_{P,T} + G''_{P,T} + G'_Z + G''_Z = \mu_0 \left( \frac{\pi r^2}{\varphi R} + \pi r (g'_{P,T} + g''_{P,T} + g'_Z + g''_Z) \right), \Gamma. \quad (73)$$

При  $\delta = 1,82$  см;  $\varphi = 15^\circ = 0,261$  рад по формуле 73:

$$G_{\delta,1,82} = 1,256 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{3,14 \cdot 3^2 \cdot 10^{-2}}{1,82} + 3,14 \cdot 3(0,35 + 0,44 + 0,4 + 0,1) \cdot 10^{-2} \right] = 34,78 \cdot 10^{-8} \Gamma.$$

- При  $\frac{d}{\delta} = \frac{2r}{\varphi R} = \frac{6 \cdot 10^{-2}}{0,261 \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = 7,66$ ;  $g'_{P,T} = 0,35$  по [2, рис. 11-3,а],
- При  $\frac{d}{\delta'} = \frac{2r}{\varphi R'} = \frac{6 \cdot 10^{-2}}{0,261 \cdot 7,5 \cdot 10^{-2}} = 3,07$ ;  $g''_{P,T} = 0,44$  по [2, рис. 11-3,а],
- При  $\frac{z}{\delta} = \frac{\Delta_{П,Н}}{\varphi R} = \frac{0,6 \cdot 10^{-2}}{0,261 \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = 0,77$ ;  $g'_Z = 0,4$  по [2, рис. 11-4],
- При  $\frac{z}{\delta''} = \frac{\Delta_{П,Н}}{\varphi R''} = \frac{0,6 \cdot 10^{-2}}{0,261 \cdot 7,5 \cdot 10^{-2}} = 0,31$ ;  $g''_Z = 0,1$  по [2, рис. 11-4].

Так же рассчитываются по формуле 73 проводимости при зазорах 1,22 см и 0,6 см:

$$G_{\delta,1,22} = 1,256 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{3,14 \cdot 3^2 \cdot 10^{-2}}{1,22} + 3,14 \cdot 3(0,35 + 0,44 + 0,4 + 0,1) \cdot 10^{-2} \right] = 44,36 \cdot 10^{-8} \Gamma,$$

$$G_{\delta,0,6} = 1,256 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{3,14 \cdot 3^2 \cdot 10^{-2}}{0,6} + 3,14 \cdot 3(0,35 + 0,44 + 0,4 + 0,1) \cdot 10^{-2} \right] = 74,42 \cdot 10^{-8} \Gamma.$$

При зазоре 0,1 выпучивание потока можно не учитывать и

$$G_{\delta,0,1} = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,14 \cdot 3^2 \cdot 10^{-4}}{0,1 \cdot 10^{-2}} = 355 \cdot 10^{-8} \Gamma. \quad (74)$$

Значения проводимостей приведены в таблице 4.

Производные проводимостей определяются без учета выпучивания потока (эти слагаемые незначительны в сравнении с слагаемой основного потока) При зазоре 1,82 см.

$$\frac{dG_{\delta}}{d\delta_{1,82}} = \mu \frac{\pi r^2}{\delta_{1,82}^2} = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,14 \cdot 3^2 \cdot 10^{-4}}{1,82^2 \cdot 10^{-4}} = 10,72 \cdot 10^{-6} \Gamma. \quad (75)$$

Так же определяются остальные производные. Значения величин приведены в таблице 4.

$$\frac{dG_{\delta}}{d\delta_{1,22}} = \mu \frac{\pi r^2}{\delta_{1,22}^2} = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,14 \cdot 3^2 \cdot 10^{-4}}{1,22^2 \cdot 10^{-4}} = 23,85 \cdot 10^{-6} \Gamma,$$

$$\frac{dG_{\delta}}{d\delta_{0,6}} = \mu \frac{\pi r^2}{\delta_{0,6}^2} = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,14 \cdot 3^2 \cdot 10^{-4}}{0,6^2 \cdot 10^{-4}} = 98,6 \cdot 10^{-6} \Gamma,$$

$$\frac{dG_{\delta}}{d\delta_{0,01}} = \mu \frac{\pi r^2}{\delta_{0,01}^2} = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,14 \cdot 3^2 \cdot 10^{-4}}{0,1^2 \cdot 10^{-4}} = 3549 \cdot 10^{-6} \Gamma.$$

Проводимость между якорем и скобой определяется по методу деления поля на простые фигуры (Рисунок 19).

$$G_{\Sigma_{я.ск}} = G_{я.лп} + 2G_8 + G_{10} + G_{\sigma.ок} + G_{п.оч} = \\ = \mu_0 \cdot \left( \frac{b_{я} \cdot a_{лп}}{\delta_{лп}} + 2 \frac{b_{я} \cdot a_{ск}}{\delta_{ск}} + 3 \cdot 0,52 \cdot b_{я} + 3 \frac{0,64 \cdot b_{я}}{0,5 + \delta / z} + 2 \frac{a_{я} \cdot a_{ск}}{\delta_{\sigma ок}} + G_{п.оч} \right). \quad (76)$$

- При зазоре 1,82:

$$G_{\Sigma_{я.ск}} = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{9,1 \cdot 0,5}{0,061} + \frac{2 \cdot 9,1 \cdot 1}{0,245} + 3 \cdot 0,52 \cdot 9,1 + 3 \cdot \frac{0,64 \cdot 9,1}{0,5 + 1,82 / 0,6} + \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 1}{0,03} + 8,3 \right) \cdot 10^{-2} \\ = 330 \cdot 10^{-8} \Gamma.$$

- При зазоре 1,22:

$$G_{\Sigma_{я.ск}} = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{9,1 \cdot 0,5}{0,061} + \frac{2 \cdot 9,1 \cdot 1}{0,245} + 3 \cdot 0,52 \cdot 9,1 + 3 \cdot \frac{0,64 \cdot 9,1}{0,5 + 1,22 / 0,6} + \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 1}{0,03} + 8,3 \right) \cdot 10^{-2} \\ = 336 \cdot 10^{-8} \Gamma.$$

- При зазоре 0,60:

$$G_{\Sigma_{я.ск}} = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{9,1 \cdot 0,5}{0,061} + \frac{2 \cdot 9,1 \cdot 1}{0,245} + 3 \cdot 0,52 \cdot 9,1 + 3 \cdot \frac{0,64 \cdot 9,1}{0,5 + 0,6 / 0,6} + \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 1}{0,03} + 8,3 \right) \cdot 10^{-2} \\ = 342 \cdot 10^{-8} \Gamma.$$

- При зазоре 0,1:

$$G_{\Sigma_{я.ск}} = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{9,1 \cdot 0,5}{0,061} + \frac{2 \cdot 9,1 \cdot 1}{0,245} + 3 \cdot 0,52 \cdot 9,1 + 3 \cdot \frac{0,64 \cdot 9,1}{0,5 + 0,1 / 0,6} + \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 1}{0,03} + 8,3 \right) \cdot 10^{-2} \\ = 371 \cdot 10^{-8} \Gamma,$$

где  $b_{я} = 91$  мм - длина якоря;  $b_{ск} = 126$  мм - длина скобы;  $a_{я} = 10$  мм - высота якоря;  $a_{ск} = 10$  мм - высота скобы.

Проводимость между скобой и «хвостом» якоря определяется по методу деления поля на простые фигуры:

$$G_{CK.X} = \mu_0 \left[ \frac{l_X \cdot b_Y}{\delta_X} + 2 \cdot 0,52 l_X + 2 \cdot \frac{0,64 l_X}{0,5 + \delta_X / a_Y} + \right. \quad (77)$$

$$\left. + 0,26 b_Y + \frac{0,64 \cdot b_Y}{1 + \delta_X / a_Y} + 4 \cdot 0,077 (\delta_X + 2 a_Y) \right], \text{ Г.}$$

Здесь переменной величиной является воздушный зазор  $\delta_X$ . Расчет можно вести по формуле 77 по среднему значению зазора  $\delta_{X.CP} = \delta_{X0} + 0,5 l_X \text{tg}(15^\circ - \varphi)$ .

- При  $\varphi = 15^\circ, \delta = 1,82 \text{ см}$   $\delta_{X.CP} = \delta_{X0} = 1,4 \text{ см}$ , проводимость

$$G_{CK.X} = 1,256 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{15,6 \cdot 9,1}{1,4} + 2 \cdot 0,52 \cdot 15,6 + \frac{2 \cdot 0,64 \cdot 15,6}{0,5 + 1,4 / 1,3} + 0,26 \cdot 9,1 + \frac{0,64 \cdot 9,1}{1 + 1,4 / 1,3} + 4 \cdot 0,077 \cdot 3,4 \right] \cdot 10^{-2} = 172,3 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

- При  $\varphi = 5^\circ, \delta = 1,22 \text{ см}$   $\delta_{X.CP} = 1,4 + 0,5 \cdot 15 \cdot \text{tg} 10^\circ = 2,72 \text{ см}$ , проводимость

$$G_{CK.X} = 1,256 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{15,6 \cdot 9,1}{2,72} + 2 \cdot 0,52 \cdot 15,6 + \frac{2 \cdot 0,64 \cdot 15,6}{0,5 + 2,72 / 1,3} + 0,26 \cdot 9,1 + \frac{0,64 \cdot 9,1}{1 + 2,72 / 1,3} + 4 \cdot 0,077 \cdot 3,4 \right] \cdot 10^{-2} = 110,33 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

- При  $\varphi = 3,5^\circ, \delta = 0,6 \text{ см}$   $\delta_{X.CP} = 1,4 + 0,5 \cdot 15 \cdot \text{tg} 11,5^\circ = 2,93 \text{ см}$ , проводимость

$$G_{CK.X} = 1,256 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{15 \cdot 9,1}{2,93} + 2 \cdot 0,52 \cdot 15 + \frac{2 \cdot 0,64 \cdot 15}{0,5 + 2,93 / 1,3} + 0,26 \cdot 9,1 + \frac{0,64 \cdot 9,1}{1 + 2,93 / 1,3} + 4 \cdot 0,077 \cdot 3,4 \right] \cdot 10^{-2} = 105 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

- При  $\varphi = 0^\circ, \delta = 0,1 \text{ см}$   $\delta_{X.CP} = 1,4 + 0,5 \cdot 15 \cdot \text{tg} 15^\circ = 3,36 \text{ см}$ , проводимость

$$G_{CK.X} = 1,256 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{15 \cdot 9,1}{3,36} + 2 \cdot 0,52 \cdot 15 + \frac{2 \cdot 0,64 \cdot 15}{0,5 + 3,36 / 1,3} + 0,26 \cdot 9,1 + \frac{0,64 \cdot 9,1}{1 + 3,36 / 1,3} + 4 \cdot 0,077 \cdot 3,4 \right] \cdot 10^{-2} = 96 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

Полная проводимость нерабочего зазора между якорем скобой

- При зазоре 1,82 см.

$$G_{П.Я.СК} = G_{\Sigma_{Я.СК}} + G_{CK.X} = (330 + 172,3) \cdot 10^{-8} = 502,3 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$



- При зазоре 1,22 см.

$$G_{П.Я.СК} = G_{\Sigma Я.СК} + G_{СКХ} = (336 + 110,33) \cdot 10^{-8} = 446,33 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

- При зазоре 0,6 см.

$$G_{П.Я.СК} = G_{\Sigma Я.СК} + G_{СКХ} = (342 + 105) \cdot 10^{-8} = 447 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

- При зазоре 0,1 см.

$$G_{П.Я.СК} = G_{\Sigma Я.СК} + G_{СКХ} = (371 + 96) \cdot 10^{-8} = 467 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

Проводимость между полюсным наконечником и сердечником

$$G_{П.Н.С} = \mu_0 \frac{\pi d_C^2}{4\Delta} = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,14 \cdot 5,6^2 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2}} = 883 \cdot 10^{-8} \text{ Г.} \quad (78)$$

Проводимость между сердечником и основанием скобы.

$$G_{С.ОС} = \mu_0 \left( \frac{\pi d_C^2}{4} - \frac{\pi d_p}{4} \right) \frac{1}{\delta_{С.О}} + \mu_0 \frac{\pi d_p a_{СК}}{\Delta p} = 42,6 \cdot 10^{-8} = \quad (79)$$

$$= 1,256 \cdot 10^{-6} \left[ \left( \frac{3,14 \cdot 5,6^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \right) \cdot \frac{1}{0,008} + \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 1}{0,05} \right] \cdot 10^{-2} = 3530 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

Сумма проводимостей рабочего и нерабочего зазоров, расположенных со стороны якоря

- При зазоре 1,82 см:

$$G_{\Sigma \delta Я.СК} = \frac{G_{\delta} \cdot G_{П.Я.СК}}{G_{\delta} + G_{П.Я.СК}} = \frac{34,78 \cdot 502,3 \cdot 10^{-16}}{(34,78 + 502,3) \cdot 10^{-8}} = 32,6 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

- При зазоре 1,22 см:

$$G_{\Sigma \delta Я.СК} = \frac{G_{\delta} \cdot G_{П.Я.СК}}{G_{\delta} + G_{П.Я.СК}} = \frac{44,78 \cdot 446,33 \cdot 10^{-16}}{(44,78 + 446,33) \cdot 10^{-8}} = 40,7 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

- При зазоре 0,6 см:

$$G_{\Sigma \delta Я.СК} = \frac{G_{\delta} \cdot G_{П.Я.СК}}{G_{\delta} + G_{П.Я.СК}} = \frac{74,42 \cdot 447 \cdot 10^{-16}}{(74,42 + 447) \cdot 10^{-8}} = 63,8 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

- При зазоре 0,1 см:

$$G_{\Sigma \delta Я.СК} = \frac{G_{\delta} \cdot G_{П.Я.СК}}{G_{\delta} + G_{П.Я.СК}} = \frac{355 \cdot 467 \cdot 10^{-16}}{(355 + 467) \cdot 10^{-8}} = 201,7 \cdot 10^{-8} \text{ Г.}$$

Проводимость потока рассеяния.

$$g = \mu_0 \frac{2\pi k}{\ln \frac{h + \sqrt{h^2 - r^2}}{r}} = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5}{\ln \frac{4 + \sqrt{4^2 - 2,8^2}}{2,8}} = 2,68 \cdot 10^{-6} \text{ Г}, \quad (80)$$

где  $k = 0,2 \div 0,85$  ;  $h = 40$  мм – радиус обмотки;  $r = 28$  мм – радиус сердечника.

Значения магнитных проводимостей воздушных промежутков при разных величинах рабочего воздушного зазора приведены.

Таблица 4 — Магнитные проводимости воздушных промежутков

$\delta, \text{см}$	$G_\delta$	$G_{П.Я.СК}$	$G_{\Sigma\delta Я.СК}$	$G_{П.Н.С}$	$G_{С.ОС}$	$dG/d\delta$
	$10^{-8} \text{ Г}$					$10^{-6} \text{ Г/м}$
1,82	34,78	502,3	32,6	883	3 530	10,72
1,22	44,36	446,33	40,7	883	3 530	23,85
0,60	74,42	447	63,8	883	3 530	98,6
0,01	355	466	201,7	883	3 530	3 549

Суммарная проводимость всех воздушных промежутков магнитопровода:

- При зазоре 1,82 см:

$$G_{\Sigma 13} = \frac{G_{\Sigma 1} \cdot G_{\Sigma 23}}{G_{\Sigma 1} + G_{\Sigma 23}} = \frac{50,26 \cdot 3530 \cdot 10^{-16}}{(50,26 + 3530) \cdot 10^{-8}} = 49,46 \cdot 10^{-8} \text{ Г}, \quad (81)$$

$$\begin{aligned} G_{\Sigma 1} &= G_{\Sigma\delta Я.СК} + G'_{\sigma 12} = G_{\Sigma\delta Я.СК} + \frac{gl_{12}}{2} = \\ &= 32,6 \cdot 10^{-8} + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 13,8 \cdot 10^{-2}}{2} = 50,26 \cdot 10^{-8} \text{ Г}, \end{aligned} \quad (82)$$

$$G_{\Sigma 23} = G_{С.ОС} + G'_{\sigma 23} = 3530 \cdot 10^{-8} + 0 = 3530 \cdot 10^{-8} \text{ Г}. \quad (83)$$

- При зазоре 1,22 см:

$$G_{\Sigma 13} = \frac{G_{\Sigma 1} \cdot G_{\Sigma 23}}{G_{\Sigma 1} + G_{\Sigma 23}} = \frac{57,66 \cdot 3530 \cdot 10^{-16}}{(57,66 + 3530) \cdot 10^{-8}} = 56,7 \cdot 10^{-8} \text{ Г},$$

$$G_{\Sigma 1} = G_{\Sigma\delta Я.СК} + G'_{\sigma 12} = G_{\Sigma\delta Я.СК} + \frac{gl_{12}}{2} = 40,7 \cdot 10^{-8} + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 13,8 \cdot 10^{-2}}{2} = 57,66 \cdot 10^{-8} \text{ Г},$$

$$G_{\Sigma 23} = G_{С.ОС} + G'_{\sigma 23} = 3530 \cdot 10^{-8} + 0 = 3530 \cdot 10^{-8} \text{ Г}.$$

- При зазоре 0,6 см:

$$G_{\Sigma 13} = \frac{G_{\Sigma 1} \cdot G_{\Sigma 23}}{G_{\Sigma 1} + G_{\Sigma 23}} = \frac{81,46 \cdot 3530 \cdot 10^{-16}}{(81,46 + 3530) \cdot 10^{-8}} = 79,6 \cdot 10^{-8} \Gamma;$$

$$G_{\Sigma 1} = G_{\Sigma \delta Я.СК} + G'_{\sigma 12} = G_{\Sigma \delta Я.СК} + \frac{gl_{12}}{2} = 63,8 \cdot 10^{-8} + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 13,8 \cdot 10^{-2}}{2} = 81,46 \cdot 10^{-8} \Gamma;$$

$$G_{\Sigma 23} = G_{C.OC} + G'_{\sigma 23} = 3530 \cdot 10^{-8} + 0 = 3530 \cdot 10^{-8} \Gamma.$$

- При зазоре 0,1 см:

$$G_{\Sigma 13} = \frac{G_{\Sigma 1} \cdot G_{\Sigma 23}}{G_{\Sigma 1} + G_{\Sigma 23}} = \frac{219,4 \cdot 3530 \cdot 10^{-16}}{(219,4 + 3530) \cdot 10^{-8}} = 206,5 \cdot 10^{-8} \Gamma;$$

$$G_{\Sigma 1} = G_{\Sigma \delta Я.СК} + G'_{\sigma 12} = G_{\Sigma \delta Я.СК} + \frac{gl_{12}}{2} = 201,7 \cdot 10^{-8} + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 13,8 \cdot 10^{-2}}{2} = 219,4 \cdot 10^{-8} \Gamma;$$

$$G_{\Sigma 23} = G_{C.OC} + G'_{\sigma 23} = 3530 \cdot 10^{-8} + 0 = 3530 \cdot 10^{-8} \Gamma.$$

#### Расчет коэффициента рассеивания

$$l_{12} = \frac{2G_{C.OC} + gl_C}{2(G_{C.OC} + G_{\Sigma \delta Я.СК} + gl_C)} = 14 \cdot 10^{-2} \frac{(2 \cdot 3530 + 2,68 \cdot 14,1) \cdot 10^{-8}}{2(3530 + 32,5 + 2,68 \cdot 14,1) \cdot 10^{-8}} = 13,8 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$l_{23} = l_C - l_{12} = (14,1 - 13,8) \cdot 10^{-2} = 0,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

#### Коэффициенты рассеяния:

- При  $\delta = 1,82 \text{ см}$

$$\sigma_{12} = 1 + \frac{gl_{12}}{2G_{\Sigma \delta Я.СК}} = 1 + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 13,8 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 32,5 \cdot 10^{-8}} = 1,6;$$

$$\sigma_{23} = 1 + \frac{gl_{23}}{2G_{C.OC}} = 1 + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 3530 \cdot 10^{-8}} = 1.$$

- При  $\delta = 1,22 \text{ см}$

$$\sigma_{12} = 1 + \frac{gl_{12}}{2G_{\Sigma \delta Я.СК}} = 1 + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 13,8 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 40,7 \cdot 10^{-8}} = 1,48;$$

$$\sigma_{23} = 1 + \frac{gl_{23}}{2G_{C.OC}} = 1 + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 3530 \cdot 10^{-8}} = 1.$$

- При  $\delta = 0,6 \text{ см}$

$$\sigma_{12} = 1 + \frac{gl_{12}}{2G_{\Sigma\delta Я.СК}} = 1 + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 13,8 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 63,8 \cdot 10^{-8}} = 1,31;$$

$$\sigma_{23} = 1 + \frac{gl_{23}}{2G_{C.OC}} = 1 + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 3530 \cdot 10^{-8}} = 1.$$

- При  $\delta = 0,1$  см

$$\sigma_{12} = 1 + \frac{gl_{12}}{2G_{\Sigma\delta Я.СК}} = 1 + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 13,8 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 201,7 \cdot 10^{-8}} = 1,1;$$

$$\sigma_{23} = 1 + \frac{gl_{23}}{2G_{C.OC}} = 1 + \frac{2,68 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 3530 \cdot 10^{-8}} = 1.$$

Магнитное сопротивление стали нет необходимости рассчитывать, вследствие того что в дальнейшем расчете используется кривая намагничивания стали.

Определение величин магнитного потока в рабочем зазоре необходимого для создания электромагнитной силы с целью построения нагрузочных характеристик. Расчет начинается с определения потока, необходимого для создания силы  $F_{Э1} = F'_{M1} = 16,5$  Н. Н при критическом зазоре  $\delta_{МАК} = 1,82$  см в точках 1-1'

$$\Phi_{\delta 1} = \sqrt{\frac{2G_{\delta}^2 \cdot F_{Э1}}{dG_{\delta} / d\delta}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 34,78^2 \cdot 10^{-16} \cdot 16,5}{10,72 \cdot 10^{-6}}} = 6,1 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.} \quad (84)$$

Рассчитывается намагничивающая сила обмотки  $\Theta_{\delta 1}$ , необходимая для создания магнитного потока  $\Phi_{\delta 1} = 6,1 \cdot 10^{-4}$  Вб:

$$\Theta_{CPB} = \Theta_{\delta 1} = \sqrt{\frac{2 \cdot F_{Э}}{dG_{\delta} / d\delta}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 16,5}{10,72 \cdot 10^{-6}}} = 1755 \text{ А.} \quad (85)$$

Рассчитываем значения электромагнитную силу для зазоров 0,1 см, 0,6 см, 1,22 см:

$$F_{Э1,22} = \frac{\Theta_{CPB}^2 \cdot dG_{\delta} / d\delta}{2} = \frac{1755^2 \cdot 23,85 \cdot 10^{-6}}{2} = 36,73 \text{ Н,} \quad (86)$$

$$F_{Э0,6} = \frac{\Theta_{CPB}^2 \cdot dG_{\delta} / d\delta}{2} = \frac{1755^2 \cdot 98,6 \cdot 10^{-6}}{2} = 151,85 \text{ Н,} \quad (87)$$

$$F_{Э0,01} = \frac{\Theta_{CPB}^2 \cdot dG_{\delta} / d\delta}{2} = \frac{1755^2 \cdot 3549 \cdot 10^{-6}}{2} = 5466 \text{ Н.} \quad (88)$$

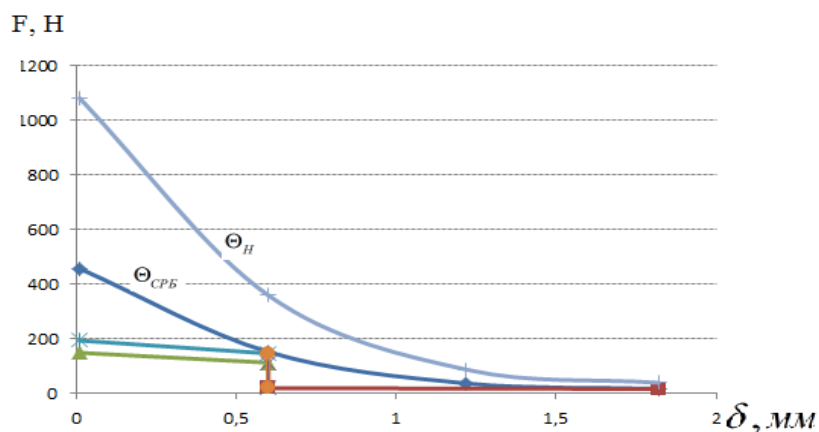


Рисунок 19 — Тяговая характеристика и характеристики противодействующих сил

Номинальная намагничивающая сила обмотки  $\Theta_H$  :

$$\Theta_H = \frac{\Theta_{СРБ}}{0,65} = \frac{1755}{0,65} = 2700 \text{ А.} \quad (89)$$

Допустимая температура обмоток многослойных катушек с изоляционными материалами нагревостойкостью по ГОСТу 8865-58 класса А у аппарата управления составляет  $125^{\circ}\text{C}$ .

Сечение и диаметр провода обмоточного провода:

$$s_M = \frac{\Theta_H \cdot \rho_{\theta} \cdot l_{B.CP}}{k_{П.Т} U_H} = \frac{2700 \cdot 2,47 \cdot 10^{-8} \cdot 0,217}{1 \cdot 220} = 5,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 = 0,0593 \text{ мм}^2,$$

где  $l_{B.CP} = \frac{\pi \cdot (D_{об.в} + D_{об.н})}{2} = \frac{3,14 \cdot (58 + 80)}{2} = 217 \text{ мм}$  - средняя длина витка;

$k_{П.Т} = 1$  - коэффициент перегрузки по току;  $\rho_{125}$  — удельное сопротивление меди при температуре  $125^{\circ}\text{C}$ :

$$\rho_{125} = \rho_0 (1 + 125 \cdot \alpha) = 1,62 \cdot 10^{-8} (1 + 125 \cdot 0,0043) = 2,49 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м.} \quad (90)$$

$$d_M = \sqrt{\frac{4 \cdot s_M}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0593}{3,14}} = 0,275 \text{ мм.} \quad (91)$$

Выбираем двойную толщину провода марки ПЭВ-2.  $d_M = 0,28 \text{ мм}$ ,  
 $d_{из} = 0,28 + 0,05 = 0,33 \text{ мм}$ ,  $s_M = 0,0616 \text{ мм}^2$ .

Число витков обмотки:

$$w = k_{3.об} \frac{l_{об} \cdot h_{об}}{s_M} = 0,71 \cdot \frac{130 \cdot 11}{0,0616} = 16609 \text{ витков}, \quad (92)$$

где  $h_{об} = (D_{об.н} - D_{об.в}) / 2 = (80 - 58) / 2 = 11 \text{ мм}.$

Сопротивление обмотки при 90 °С:

$$R = \rho_{125} \cdot \frac{l_{в.сп}}{s_M} \cdot w = 2,49 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,217}{0,0616 \cdot 10^{-6}} \cdot 16609 = 1457 \text{ Ом}. \quad (93)$$

Ток в обмотке:

$$I = \frac{1,1 \cdot 220}{1457} = 0,166 \text{ А}, \quad (94)$$

$$\Theta_{125} = Iw = 0,166 \cdot 16609 = 2757 \text{ А} > \Theta_H = 2700 \text{ А}. \quad (95)$$

Максимальные плотности тока и потребляемая мощность обмотки:

$$j = \frac{I}{s_M} = \frac{0,166}{0,0616} = 2,7 \text{ А/мм}^2. \quad (96)$$

$$P = I^2 R_{125} = 0,166^2 \cdot 1457 = 40,15 \text{ Вт}. \quad (97)$$

## 5 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

### 5.1 Технологический процесс общей сборки контактора постоянного тока

Важной частью технологической подготовки сборочного производства является проектирование технологического процесса сборки, который представляет собой совокупность операций по соединению деталей в определенной последовательности для получения аппарата, полностью отвечающего установленным требованиям. Главной задачей при производстве таких жизненно необходимых для индустрии устройств как контакторы является обеспечение надежности конструкции и качества сборки. Целью данного раздела будет: применение современных технологий сборки, тщательный выбор оборудования и оснастки, а также обоснованное нормирование сборочных работ.

### 5.2 Оценка технологичности конструкции

Технологичность – это одна из комплексных характеристик технического устройства, которая выражает удобство его производства, ремонтпригодность и эксплуатационные качества.

Годовая программа выпуска – 7000 штук. Следовательно, производство является серийным. Для серийного производства применяют метод полной взаимозаменяемости.

Для начала необходимо разобраться с конструкцией контактора. Обращаясь к данным сборочного чертежа и спецификации, можно отметить, что конструкция контактора позволяет расчленить его на функциональные узлы с целью обеспечения возможности их параллельной сборки, автономного контроля, испытания и замены: катушка (поз. 5), узел контакта (поз. 1), контакт подвижный (поз. 2), якорь (поз. 3), прижим (поз.4). При этом каждый из узлов содержит не более 8 составных частей.

Из стандартных составных частей в контакторе: болты, винты, шайбы. Для серийного производства необходимо стандартизировать узлы для климатических исполнений: элементы магнитопровода, катушка, узел контактов, пружины, а также их антикоррозионные покрытия. В конструкции контактора исключена необходимость проведения промежуточной разборки и повторной сборки его составных частей. Конструкция контактора позволяет выполнить общую сборку по методу полной взаимозаменяемости, что очень удобно в серийном производстве. Конструкция контактора обеспечивает свободный доступ сборочных инструментов к соответствующим местам соединения деталей, что идеально при сборке и локальном ремонте. Конструкция контактора позволяет выполнить сборку вдоль главной оси симметрии и сверху.

В конструкции контактора есть базовая деталь (скоба), являющаяся основой для установки остальных составных частей. Для обеспечения устойчивости и необходимой точности установки скоба наибольшая по габаритам деталь, не деформирующаяся под действием сборочных усилий, имеет развитые базовые опорные поверхности и позволяет проводить сборку в основном без изменения её положения.

Применение гаек, болтов и винтов для крепления и фиксации узлов, деталей и токопроводящих шин на скобе обеспечивает доступную возможность разборки контактора с целью подключения, настройки и ремонта.

Все соединения осуществляются простейшими движениями, что позволяет применять наиболее простое сборочное оборудование.

У выбранной конструкции легкий доступ ко всем контактам при необходимости ремонта. Зачистку контактов и торцов магнитопровода можно осуществлять мелким надфилем или наждачной бумагой.



### 5.3 Составление схемы сборки и маршрутной технологии производства контактора постоянного тока



Рисунок 20 – Схема сборки контактора постоянного тока

Окончательным этапом общей сборки являются прямо-сдаточные испытания. Порядок проведения и виды испытаний приведены ниже. Все этапы сборки приведены в маршрутной карте.

### 5.4 Выбор сборочного оборудования и оснастки

Все сборочные операции, кроме болтовых соединений, осуществляются без применения специальных инструментов поступательными движениями в вертикальной плоскости.

Закручивание болтов может осуществляться плоской шлицевой отверткой. Для повышения производительности, качества соединения и снижения нагрузки на человека, при сборке используется аккумуляторная отвертка STAYER SCSD.

Сборочные операции производятся на столе сборщика - верстак К-2-130.

Контроль размеров производится с помощью мерительных инструментов (калибров-скоб, калибров-пробок, см. приложение )

Прямо-сдаточные испытания производятся на универсальном стенде типа УС-002 для прямо-сдаточных испытаний маломощных электромагнитных контакторов переменного и постоянного тока. Технические данные стенда приведены в таблице 13 приложения А. В состав стенда входят:

цифровой мегомметр M4122RS, цифровой измеритель тока, напряжения, частоты, мощности DM2436ABB, электронный таймер и стабилизированный блок питания с цифровой индикацией. Стенд является, в значительной степени, автоматизированным. От работника требуется только установить контактор в соответствующий слот, подключить клеммы питания катушки, шины основных и вспомогательных контактов, закрыть шкаф и запустить программу испытаний. Результаты будут отображены на экране сразу по завершению испытаний, а так же сохранены на корпоративный сервер и доступны для ознакомления и вывода на печать сотрудникам, имеющим доступ к ним.

## 5.5 Нормирование сборочных работ и расчёт количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы

Программа выпуска равна 7000 шт./г. Ниже приведены таблицы норм времени приёмо-сдаточных испытаний и общей сборки.

Таблица 5 — Приемо-сдаточные испытания изделия

Наименование	Штучное время, $t_{шт}$ , МИН
Установка контактора на стенд и снятие по завершении испытаний	3,00
Испытание на срабатывание и возврат	5,50
Проверка коммутационной способности вспомогательных контактов	
Испытание на коммутационную способность главных контактов	0,08
Проверка коммутационной способности контакторов в режиме редких коммутаций	3,00
Испытание на критическую отключающую способность	2,00
Общее время для одного контактора	13,58

Таблица 6 — Контрольные операции

Наименование	Штучное время, $t_{шт}$ , МИН
Внешний осмотр	0,08
Контроль габаритных размеров	0,20
Контроль массы	0,06
Ручная проверка на механическое срабатывание	0,08
Общее время для одного контактора	0,42

Таблица 7 — Общая сборка изделия и слесарно-сборочные операции

Номер перехода	Содержание работы	Штучное время, $t_{шт}$ , мин
1	Взять скобу, установить ее на верстак	0,02
2	Установить сердечник с помощью болта на скобу	0,2
3	Установить катушку на сердечник	0,21
4	Установить на скобу шину1 с помощью болта	0,05
5	Установить на скобу шину2 с помощью болта	0,05
6	Взять якорь, установить его на скобу	0,025
7	Установить пружину на якорь	0,1
8	Установить на скобу контактный узел с помощью винтов	0,125
9	Установить подвижный контакт зафиксировать с помощью прижима	0,22
10	Испытания	14,00
Общее время для одного контактора		15,00

При непрерывной сборке количество изделий, выпускаемых за день одним сборщиком, будет равно:

$$Q_{дн} = \frac{Q_{г} \cdot k}{247} = \frac{7000 \cdot 1,04}{247} \approx 29 \text{ шт/день}, \quad (98)$$

где  $Q_{дн}$  – дневной объем выпуска, шт/день;  $Q_{г}$  – объем запуска, шт/г;  $K$  - принимаемое количество брака, в нашем случае - 4 %; 247 – количество рабочих дней в году.

Проверим, возможно ли произвести общую сборку 29 контактора в день.

$$t_{дн} = t_{шт} \cdot Q_{дн} = 15 \cdot 29 = 435 \text{ мин} \quad (99)$$

При длительности рабочей смены в 450 мин ( 8 часовая рабочая смена, с вычетом свободного времени рабочего) сборка возможна в 1 поток.

Согласно проведенным расчетам рабочие уложатся в план годовой программы выпуска.

## 5.6 Определение необходимого количества оборудования

Количество оборудования, необходимое для организации производства, и его загрузка являются исходными данными для проектирования участка цеха. Определяем составляющие на 2015 год, число дней в котором 365.

- $V_d = 118$  – количество выходных дней;
- $P_d = 14$  – количество праздничных дней;
- $P_{пд} = 5$  – количество предпраздничных дней;
- $z = 1$  – число смен работы оборудования;
- $K_p = 1$ .

Эффективный годовой фонд времени работы верстака К-2-130 равен

$$F_d = [(365 - V_d - P_d) \cdot 8 - P_{пд}] \cdot z \cdot K_p = \quad (100)$$
$$= [(365 - 118 - 14) \cdot 8 - 5] \cdot 1 \cdot 1 = 1859 \text{ часов.}$$

Расчетное число оборудования равно

$$C_p = \frac{T_{шт-к} \cdot N}{60F_d} = \frac{5,5 \cdot 7000}{60 \cdot 1859} = 0,36, \quad (101)$$

где  $T_{шт-к}$  – сумма штучно-калькуляционного времени по всем операциям для одного верстака.

Принимаем число верстаков равным  $C_{п}=1$  и определяем коэффициент загрузки оборудования  $K_3 = (C_p / C_{п}) \cdot 100 = (0,36/1) \cdot 100 = 36 \%$ .

Расчетное число контрольно-испытательных станков УС- 002 равно:

$$C_p = \frac{T_{шт-к} \cdot N}{60F_d} = \frac{13,58 \cdot 7000}{60 \cdot 1859} = 0,85. \quad (102)$$

Принимаем число станков равным  $C_{п}=1$  и определяем коэффициент загрузки станка  $K_3 = C_p / C_{п} \cdot 100 = 0,85/1 \cdot 100 = 85 \%$ .

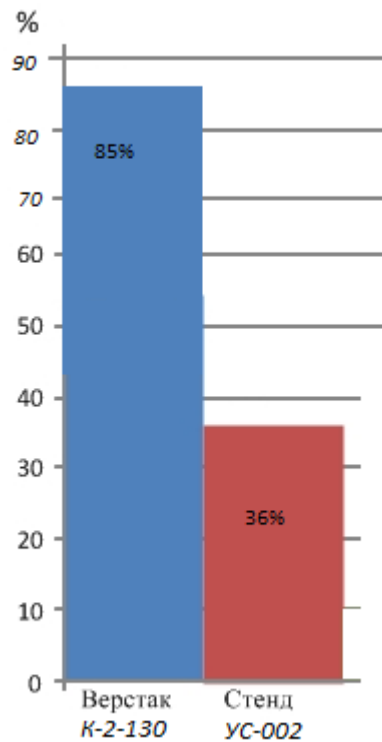


Рисунок 21 — График загрузки оборудования

В дальнейшем, при необходимости, есть возможность значительно сократить время общей сборки, если проводить сборку контакторов во время проведения приёмо-сдаточных испытаний и удвоить количество испытательных стендов, а так же количество рабочих.

В ходе данной работы был изучен и описан технологический процесс общей сборки контактора постоянного тока. Составлена маршрутная карта и карта эскизов. Выбрано сборочное оборудование и оснастка. Проведён анализ норм времени и предложены варианты значительного сокращения времени сборки.

## 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### 6.1 Социальная ответственность организаций при разработке проектируемого контактора постоянного тока

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.

### 6.2 Производственная безопасность

#### 6.2.1 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.

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 полной потере слуха. На постоянных рабочих местах допустимый уровень

шума составляет 80 дБА в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 «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 8.

Таблица 8 — Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Электромагнитные излучения наибольшее влияние оказывают на иммунную, нервную и эндокринную системы. Иммунная система уменьшает выброс в кровь специальных ферментов, выполняющих защитную функцию, происходит ослабление системы клеточного иммунитета.

Электрические и магнитные поля:

- поверхностный электростатический потенциал  $\leq 500$  В;
- напряженность переменного электрического поля частотой 2 Гц ÷ 2 кГц  $\leq 25$  В/м;

- напряженность переменного электрического поля частотой  $2 \div 400 \text{ кГц} \leq 2,5 \text{ В/м}$ ;
- плотность потока переменного магнитного поля частотой  $2 \text{ Гц} \div 2 \text{ кГц} \leq 250 \text{ нТл}$ ;
- плотность потока переменного магнитного поля частотой  $2 \div 400 \text{ кГц} \leq 25 \text{ нТл}$ .

В соответствии с СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения. Санитарные правила и нормы» защита персонала от воздействия Электромагнитных излучений осуществляется путем проведения организационных и инженерно-технических мероприятий, а так же использования средств индивидуальной защиты. К средствам индивидуальной защиты относятся защитные очки, щитки, шлемы, защитная одежда (комбинезоны, халаты и т.д.).

#### 6.2.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого контактора

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

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 газозоодушных 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 12.4.011-75 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 риск поражения 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 контакторы производятся с применением дорогих цветных металлов, такие контакторы могут выдержать очень большое количество срабатываний. Использование дешевых контакторов 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. Искрение на контактах контактора может стать причиной возгорания изделия.

Другие причины возможного возникновения пожара:

- 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.

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.

### 6.3 Экологическая безопасность

Проектируемый контактор 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 контактора постоянного тока используются металлы. Под влиянием погодных условий металлы, содержащиеся в деталях электронных и электрических аппаратах, могут образовать 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. При неправильно осуществленном процессе утилизации вышедшие из строя контакторы 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

предприятию, 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 контактора основывается на принципе разделения на составные компоненты, а переработка является отдельным утилизационным процессом.

#### 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Надежность контактора, 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, экскаваторную технику.

Анализ ЧС при эксплуатации контактора постоянного тока.

К ЧС при эксплуатации контактора постоянного тока относятся: возгорание, взрывы контактора, а так же поломка приборов, зависящих от работы контактора. Это связано с перегревами, происходящими в рабочем отсеке экскаваторной техники. Большинство экскаваторов, выпускаемых в настоящее время специализированными организациями, не имеют никакой защиты от перегрева, связанного с внешними факторами, погодными условиями, или же от незапланированного увеличения нагрузки, а так же просто от халатности рабочих, однако во всех случаях она необходима. Отсутствие надлежащего контроля температур в рабочих элементах экскаваторной техники отрицательно сказывается на их сроке службы и производительности – даже недолгое залипание контактов контактора может иметь катастрофические последствия и привести к опасности жизни

окружающих машину людей, поломке самой машины, а также создаст угрозы ближайшим населенным пунктам. Это может случиться, если при залипании контактов контактора заклинит двигатель, отвечающий за работу ковша, который может оборвать линии электропередач. Может случиться внезапное неконтролируемое высвобождение энергии, что может привести к чрезвычайным событиям, самовозгоранию элементов экскаваторной техники и самой экскаваторной технике, 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 контактора постоянного тока.

При возникновении ЧС необходимо избавиться от паники и стараться ликвидировать ЧС в зависимости от ее вида. При возгорании контактора постоянного тока необходимо заглушить двигатель экскаватора, и при помощи огнетушителя, аккуратно приоткрыв доступ к контактору постоянного тока направить струю огнетушителя в предполагаемую область возгорания, в этом случае стоит помнить, что открывая моторный отсек экскаватора, 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.

## 6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При производстве и эксплуатации контактора постоянного тока необходимо руководствоваться нормативным документом ГОСТ 11206-77(2002) «Контакторы электромагнитные низковольтные. Общие технические условия».

Нормирование шума производится по ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности».

Нормирование вибрации производится по ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность. Общие требования».

Работы по ТО и ТР, испытанию и наладке электрического и электронного оборудования необходимо производить в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты" и ПУЭ.

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

Освещенность рабочего места и минимальный размер предметов различения определяется согласно СПиП 23-05-95.

## 7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Одним из важнейших свойств электрического аппарата, характеризующего его с технико-экономической точки зрения, является его надежность. Под надежностью понимается свойство аппарата выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки (числа операций, километров пути и др.) и обусловленное безотказностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью работоспособного состояния. Здесь уместно сказать, что годовая стоимость ремонта и обслуживания аппаратов одного производственного объекта в ряде случаев превышает стоимость этих аппаратов вследствие их недостаточной надежности. При этом надо учитывать ущерб, наносимый простоями, возникающий вследствие выхода из строя аппаратов.

### 7.1 Расчетная калькуляция контактора

Составим калькуляцию расходов сырья и материалов на производство контактора постоянного тока, с учетом того, что составные части будут закупаться. Расчет калькуляции выполнен по данным и методике, принятой в ООО "Электропром" г. Прокопьевска по экономической роли в процессе производства затраты делятся на основные и накладные. Основные затраты непосредственно связаны с производственной деятельностью, накладные затраты связаны с организацией, обслуживанием и управлением производством. Калькуляция включает в себя следующие статьи затрат:

- материальные затраты;
- затраты на оплату труда;
- ЕСН;
- накладные расходы.
- определение материальных затрат на единицу продукции.

- определение материальных затрат на единицу продукции. Перечень составных частей контактора сведен в таблицу 9.

Таблица 9 — Перечень составных частей контактора

Наименование комплектующих	Норма расхода, шт.	Цена на 1 шт., руб.	Затраты, руб.
Сердечник	1	500,00	400,00
Магнитопровод	1	300,00	250,00
Якорь	1	150,00	130,00
Панель изоляционная	1	250,00	220,00
Главный контакт (мостик)	1	300,00	280,00
Неподвижный главный контакт	1	250,00	230,00
Катушка магнитного дутья	1	2400,00	2300,00
Скоба	1	200,00	170,00
Пружина	1	130,00	120,00
Винт	7	3,00	21,00
Ящик упаковочный	1	50,00	50,00
Токопровод	1	40,00	40,00
Всего			3981,00

Материальные затраты на единицу продукции составили  $C_m=3981$  руб/шт с учетом ТЗР 4% составили  $C_m =4140$  руб/шт.

## 7.2 Расчет затрат на заработную плату

Определим затраты на оплату труда производственных рабочих.

Найдем технологическую трудоемкость по отдельным операциям.

Таблица 10 — Определение трудоемкости операций

Наименование операции	Трудоемкость, час
Сборка элементов контактора	5
Монтаж контактора	6
Монтаж системы управления	4
Тестирование работы контактора	3
Технологическая трудоемкость	18

Тарифная заработная плата сборщика равна в размере 40 р/ч:

$$Z_{\text{тар}}=18 \cdot 40=720 \text{ руб.} \quad (103)$$

Определим премию за выполнение норм плана:

$$\text{Пр}=Z_{\text{тар}} \cdot 20\%=720 \cdot 0,2=144 \text{ руб.} \quad (104)$$



С учетом районного коэффициента:

$$P_k = (Z_{\text{тар}} + \text{Пр}) \cdot 30\% = (720 + 144) \cdot 0,3 = 260 \text{ руб.} \quad (105)$$

Основная заработная плата производственных рабочих с учетом премии и надбавки равна:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + \text{Пр} + P_k = 720 + 144 + 260 = 1124 \text{ руб.} \quad (106)$$

Дополнительная заработная плата производственных рабочих равна 12% от основной заработной платы производственных рабочих:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 1124 = 135 \text{ руб.} \quad (107)$$

Отчисления на социальные нужды включают в себя:

- отчисления в пенсионный фонд 20 %;
- отчисления на социальное страхование 2,9 %;
- отчисления на медицинское страхование 1,1 %;
- на территориальный фонд страхования 2 %;
- страхование от несчастных случаев 2%.

$$C_{\text{отч}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot 0,28 = (1124 + 135) \cdot 0,28 = 353 \text{ руб.} \quad (108)$$

### 7.3 Расчет накладных расходов

Сумма накладных затрат на предприятии составляет 110% от суммы основной заработной платы труда основных рабочих и включает в себя:

- заработная плата вспомогательных рабочих;
- отчисления на социальные цели вспомогательных рабочих;
- заработная плата административно-управленческого персонала;
- отчисления на социальные цели административно-управленческого персонала;
- амортизация основных средств;
- командировочные расходы;
- расходы на рекламу;
- прочие.

Сумма накладных затрат определяется по формуле:

$$C_{\text{накл}} = 110\% \cdot Z_{\text{общ}} = 1,1 \cdot 1124 = 1236 \text{ руб.} \quad (109)$$

Расчет себестоимости сведен в таблицу 11.

Таблица 11 — Смета затрат на один контактор постоянного тока

Наименование	Сумма, руб.
Материальные затраты	4140
Основная заработная плата производственных рабочих	1124
Дополнительная заработная плата производственных рабочих	135
Единый социальный налог	353
Итого прямые расходы	3852
Накладные расходы	1237
Итого:	10842

Таким образом, полная себестоимость одного контактора равна 10842 руб.

Рыночная цена контактора постоянного тока в среднем составляет 12500 руб./шт.

Определяем рентабельность данного производства:

$$\text{Рент} = \frac{\Pi}{C} \cdot 100\% = \frac{12500 - 10842}{10842} \cdot 100\% = 16\% \quad (110)$$

#### 7.4 Расчет прибыли предприятия

Выручку от реализации определяем по формуле  $Q_{\text{реал}} = Ц \cdot Q_t$ ,  
где Ц – цена изделия, руб.;  $Q_t$  – производственная программа, шт.

$$Q_{\text{реал}} = 9500 \cdot 500 = 4,75 \text{ млн. руб.} \quad (111)$$

Затраты представляют собой сумму переменных затрат и постоянных затрат.

Переменные затраты:

$$C_{\text{пер}} = (C_m + C_{\text{зп}}) \cdot N_{\text{пр}} = (4140 + 1124 + 135 + 353) \cdot 500 = 2,876 \text{ млн.руб./год}, \quad (112)$$

где  $C_m$  - прямые материальные затраты учитывают стоимость материалов, идущих на изготовление данного вида продукции, руб.;  $C_{\text{зп}}$  - затраты на оплату

труда основных рабочих складываются из затрат труда основных рабочих и отчислений на социальные нужды, руб.

Постоянные затраты  $C_{\text{пост}}$  - это затраты, которые не зависят от объемов выпускаемой продукции. К ним относятся накладные расходы.

$$C_{\text{пост}} = 1237 \cdot 500 = 618,5 \text{ тыс. руб.} \quad (113)$$

$$C_{\text{полн}} = 2876000 + 618500 = 3494,5 \text{ тыс. руб.} \quad (114)$$

Налогооблагаемая прибыль рассчитывается следующим способом:

$$П_{\text{н}} = Q_{\text{реал}} - C_{\text{полн}} = 4750000 - 2544500 = 2205500 \text{ руб.} \quad (115)$$

Налог на прибыль составляет 24 % от налогооблагаемой прибыли:

$$Н_{\text{пр}} = 0,24 \cdot П_{\text{н}} = 0,24 \cdot 2205500 = 529320 \text{ руб.} \quad (116)$$

Чистая прибыль:

$$Ч_{\text{п}} = П_{\text{н}} - Н_{\text{пр}} = 2205500 - 529320 = 1676180 \text{ руб.} \quad (117)$$

Расчет прибыли сведен в таблицу 12.

Таблица 12 — Расчет прибыли

Наименование	Сумма, руб.
Выручка от реализации	4750000
Переменные затраты	2876000
Постоянные затраты	618500
Налогооблагаемая прибыль	2205500
Налог на прибыль	529320
Чистая прибыль	1676180

По результатам таблицы 12 строится график точки безубыточности (Рисунок 22). График точки безубыточности показывает влияние на прибыль объемов производства, продажной цены и себестоимости продукции, а также позволяет найти точку безубыточности, т.е. объем производства, при котором предприятие уже не имеет убытков, но еще и нет прибыли.

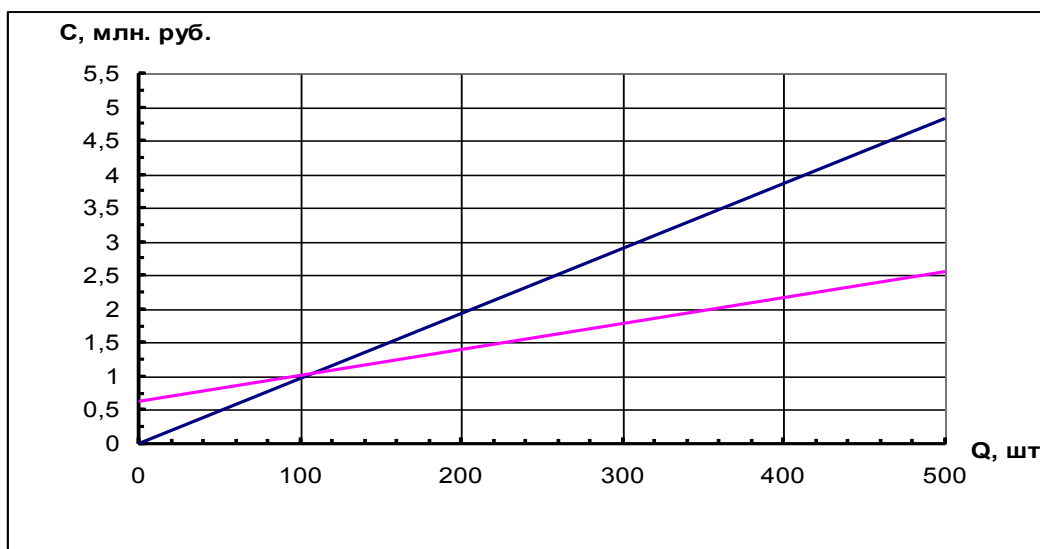


Рисунок 22 — График точки безубыточности

### 7.5 Определение точки безубыточности

Точка безубыточности рассчитывается по формуле: [Мелик-Гайказян М.В. Экономическая эффективность высоких технологий -Томск: изд-во ТПУ, 2005.- 164с.]

$$N_{кр} = C_{пост} / (Ц - C_{пер}) = 618500 / (12500 - 3852) = 72 \text{ шт.} \quad (118)$$

Следовательно, при рентабельности в 16 % после выпуска 72 контакторов предприятие начинает получать прибыль. Это значит, что при заданной программе производства предприятие получает прибыль.

Величина запаса безопасности рассчитывается по формуле: [Мелик-Гайказян М.В. Экономическая эффективность высоких технологий -Томск: изд-во ТПУ, 2005.- 164с.]

$$K_{\phi y} = \frac{N - N_{\delta / y}}{N} \cdot 100\% = \frac{500 - 72}{500} \cdot 100\% = 85,6 \%. \quad (119)$$

Чем выше этот показатель, тем более устойчиво предприятие перед угрозой негативных изменений (уменьшение выручки или увеличение издержек). Следовательно, мы видим у данного производства достаточно высокий запас безопасности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе были получены основные результаты:

1. Проведен анализ конструкций контактора постоянного тока. Для работы на больших токах применяются следующие серии контакторов: КПВ-600, КТПВ-600, КП2, KB1, KBТ, МК-6. Сравнив технические характеристики, а также стоимость и массу каждого контактора, был выбран контактор постоянного тока КПВ-605 как прототип.

2. Рассчитаны технические параметры и размеры основных частей контактора постоянного тока. Проверив условия термической стойкости, была выбрана шина размерами  $a = 7$  мм,  $b = 20$  мм,  $S = 140$  мм<sup>2</sup>.

3. Рассчитаны сопротивление и напряжение на контактах, проверив их на сваривание, были выбраны: неподвижный контакт размерами 12x25 мм и подвижный контакт размерами 10x30 мм.

4. Рассчитаны размеры дугогасительной камеры проектируемого контактора. Получены следующие размеры: длина – 122мм, высота – 122 мм, ширина–54 мм. В качестве материала для стенок камеры выбрана керамика. Массу и габариты сократились до 34% по сравнению с прототипом.

5. Рассчитаны механическая характеристика и электромагнит постоянного тока. Полученная тяговая характеристика лежит выше характеристики противодействующих сил.

6. Приведена оценка проектируемой конструкции, составлены схема сборки и маршрутная карта контактора. Рассчитана норма времени для сборки каждого контактора и для большого объема выпуска. Время сборки одного контактора составляет 15 мин. В среднем сборщики, за 8-и часовую смену производят 29 изделия. При выполнении программы выпуска 7000шт/г, требуется 241 смена.

7. Проведен анализ вредных факторов при разработке и эксплуатации контактора постоянного тока, рассмотрены средства защиты от вредных

воздействий. Анализ экологической безопасности выявил слабое влияние на экологию, за исключением случаев неправильной утилизации. Так же были рассмотрены правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности.

8. Рассчитана калькуляция расходов сырья и материалов на производство контактора, затраты на заработную плату, затраты на накладные расходы. Произведен расчет прибыли предприятия и определена точка безубыточности, которая показала, что после продажи 72 контакторов предприятие начнет получать прибыль.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сипайлова Н.Ю. Вопросы проектирования электрических аппаратов : Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» — Томск: Изд-во ТПУ, 2014.
2. Сахаров П. В. Проектирование электрических аппаратов : Учебное пособие для вузов по специальности "Электрические машины и аппараты" – М. : Энергия, 1971 . – 560 с..
3. Таев И.С. Электрические аппараты управления. Учебник для вузов по спец. «Электрические аппараты». 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. Шк., 1984. 247с., ил..
4. Александров Г.Н. Проектирование электрических аппаратов: учебник для вузов / Г.Н. Александров, В.В. Борисов, Г.С. Каплан и др.. Я. : Энергоатомиздат. Ле-нингр. отд-ние, 1985. 448 с..
5. Чунихин А. А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. – 4-е изд., стереотипное. Перепечатка с третьего издания. – М.: ООО «ИД Альянс», 2008. – 720с.: ил.
6. Таев И.О. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения. – М.: Энергия, 1972.
7. Чесалин А. Д., Баранов П. Р. Технология производства электротехнических изделий [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Томск: Изд-во ТПУ, 2011.
8. Мелик-Гайказян М.В. Экономическая эффективность высоких технологий -Томск: изд-во ТПУ, 2005.- 164с.
9. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1982. – 736 с.
10. ГОСТ 16962-71 Изделия электронной техники и электроники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний.
11. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин и приборов в условиях

массового, крупносерийного и среднесерийного производства. – Москва: Экономика, 1991. – 82 с.

12. 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.

13. ГОСТ 16962-71 Изделия электронной техники и электроники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний.

14. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин и приборов в условиях массового, крупносерийного и среднесерийного производства. – Москва: Экономика, 1991. – 82 с.

15. Трудовой кодекс Российской Федерации.

16. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

18. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

19. ГОСТ 2933-83 Аппараты электрические низковольтные. Методы испытаний.

20. ГОСТ 8865-93 Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация.

21. ГОСТ 403-73 Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Допустимые температуры нагрева частей аппаратов.

22. ГОСТ 11206-77 Контактторы электромагнитные низковольтные. Общие технические условия.

23. ГОСТ 21427.1-83 Сталь электротехническая холоднокатаная анизотропная тонколистовая. Технические условия.

24. СНиП 23.05-95 Естественное и искусственное освещение.



Приложение А  
(обязательное)

Таблица 13 — Технические данные универсального стенда типа УС-002 для приемо-сдаточных испытаний маломощных электромагнитных контакторов переменного тока

Наименование	Значение
Напряжение питания, В	380
Частота, Гц	50
Установленная мощность, Вт	10000
Габаритные размеры, мм не более:	
длина	1500
ширина	1000
высота	1800
Масса, кг не более	190
Регулируемое выходное переменное напряжение, В	от 0 до 600
Регулируемый выходной переменный ток, А	от 0 до 250
Диапазон установки времени таймера, мин	от 0 до 99
Диапазон измеряемого сопротивления, кОм	от 0 до 10
Диапазон измерительного напряжения мегомметра, В	от 100 до 2500
Шаг измерительного напряжения мегомметра, В	50
Диапазон измеряемого сопротивления изоляции, МОм	от 0 до 200000
Ражим работы мегомметра при измерении сопротивления изоляции	ручной, автоматический
Время выдержки в автоматическом режиме измерения сопротивления изоляции, с	60
Количество рабочих мест	2
Класс точности омметра	0,05
Класс точности амперметра	0,05
Класс точности вольтметра	0,05
Класс точности мегомметра	2,5
Класс точности манометра	0,6

Дубл.									
Взам.									
Подл.									

				ЭНИН	ФЮРА.523411.00СБ							
				Контактор постоянного тока								

ПРИЛОЖЕНИЕ Б  
(обязательное)

**КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТОВ**  
на технологический процесс  
сборки контактора постоянного тока

ФЮРА.644513.001СБ

Руководитель:  
Доцент, к.т.н

Баранов П.Р.

Исполнитель:  
Студент гр. 5Г2Г

Мамыкина Д.Д.

ТЛ

Дубл.																			
Взам.																			
Подл.																			
Разраб.	Мамыкина Д.Д.					НИ ТПУ ЭНИН Группа 5Г2Г			ФЮРА. 523411.012										
Провер.																			
Г. контр.																			
Н. контр.																			
Утв.									Контактор постоянного тока										
M01																			
	Код		ЕВ	МД	ЕН	Н.расх.	КВМ	Код загот.		Профиль и размеры			КД	МЗ					
M02								Штамповка											
A	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наимен. операции			Обозначение документа											
B	Код, наименование оборудования						СМ	Проф.	P	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт		
A01	005		8864			Слесарно -сборочная			0335		1Р	1	1	1	34	1	1		
B02	Верстак К-2-130																		
T03	Костюм х/б Ми ГОСТ 27575-87																		
T04	Ботинки кожаные Мун ГОСТ 12.4.032-77																		
T05	Берет																		
T06	Перчатки х/б Ми ТУ 17 06-7745-84																		
O07	Установить на верстак скобу контактора позиция 6																		
O08	Установить в отверстия скобы сердечник позиция 7 и закрепить болтами позиция 11																		
O09	Установить катушку позиция 5 на сердечник позиция 7																		
O10	Установить шину позиция 9 и шину позиция 10 на скобу позиция 6, совместив с отверстиями, закрепить болтами позиция 11																		
O11	Установить якорь позиция 3 на скобу позиция 6																		
O12	Установить пружину позиция 8 на якорь позиция 3, совместить с отверстием на скобе позиция 6, закрепить винтом позиция 12																		
O13	Установить на скобу позиция 6 контактный узел позиция 1, закрепить винтами позиция 12																		
O14	Установить на якорь позиция 3 подвижный контакт позиция 2, совместить с контактным узлом позиция 1, зафиксировать с помощью прижима позиция 4																		
МК																1			

Дубл.																		
Взам.																		
Подл.																		
										ФЮРА. 523411.012								
А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наимен. операции				Обозначение документа									
Б	Код, наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт			
к/м	Наименование детали, сб. единицы или материала				Обозначение						опп	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх			
A02				010	0621	Контрольная		0220			1Р	1	1	1	34	1	1	
Б02	Верстак К-2-130																	
T03	Костюм х/б Ми ГОСТ 27575-87																	
T04	Ботинки кожаные Мун ГОСТ 12.4.032-77																	
T05	Берет																	
T06	Перчатки х/б Ми ТУ 17 06-7745-84																	
T07	Шаблон ТИ-10692																	
T08	Внешний осмотр контактора																	0,08
T09	Контроль габаритных размеров контактора шаблонами																	0,20
O10	Контроль массы																	0,06
O11	Ручная проверка на механическое срабатывание																	0,08
A12				015	0790	Приемо-сдаточные испытания		0765			1Р	1	1	1	34	1	1	
Б13	контрольно-испытательный стенд УС-002																	
T14	Костюм х/б Ми ГОСТ 27575-87																	
T15	Ботинки кожаные Мун ГОСТ 12.4.032-77																	
T16	Берет																	
T17	Перчатки х/б Ми ТУ 17 06-7745-84																	
O18	Установить контактор на испытательный стенд																	3,00
O19	Провести испытания на срабатывание и возврат																	2,00
O20	Провести проверку коммутационной способности вспомогательных контактов																	3,50
O21	Провести испытание на коммутационную способность главных контактов;																	0,08
МК															2			

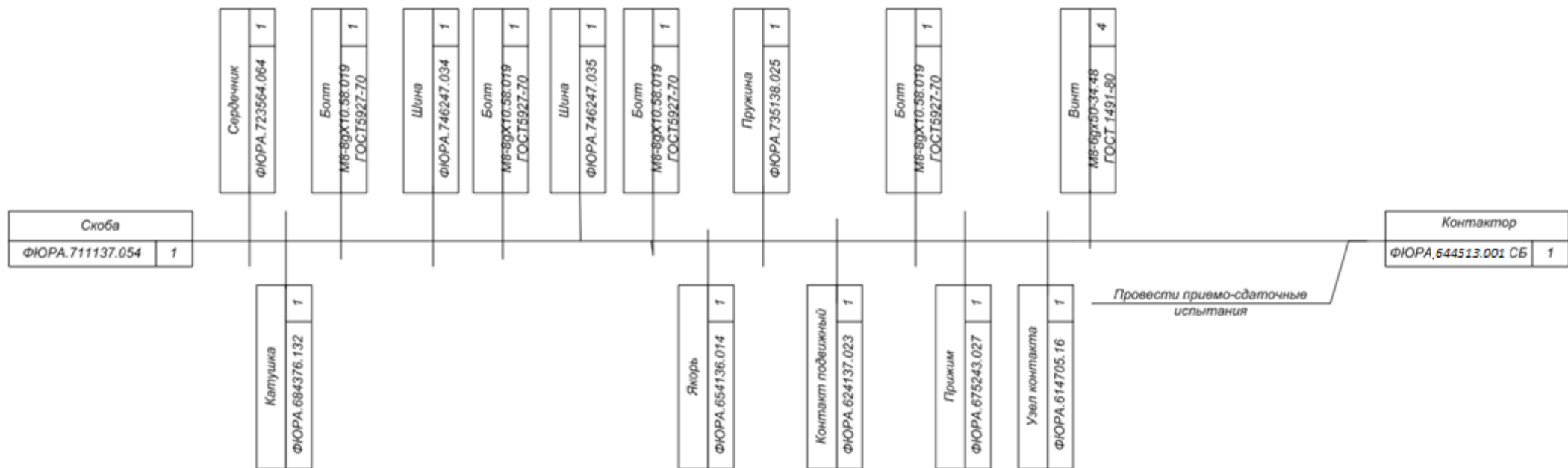
Дубл.																				
Взам.																				
Подл.																				
										ФЮРА. 853649.016										
А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наимен. операции					Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт				
к/м	Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение					опп	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх					
О22	Произвести проверку коммутационной способности контакторов в режиме редких коммутаций																			3,00
О23	Провести испытания на критическую отключающую способность																			2,00
05																				
06																				
07																				
08																				
09																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				
МК																				3

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					
					<b>ТПУ</b>				

**КАРТА ЭСКИЗОВ**

ФЮРА.644513.001

**Схема сборки контактора постоянного тока**



										Разраб.	Мамыкина Д.Д.			Лист
										Провер.	Баранов П.Р.			1
														Листов
														2
Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	Н. контр.				

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата																
					<b>ТПУ</b>															
<b>КАРТА ЭСКИЗОВ</b>					ФЮРА. 644513.001															
					<b>График загрузки оборудования</b>															
<p>The bar chart displays the loading percentage for two pieces of equipment. The vertical axis represents the percentage from 0 to 90. The horizontal axis lists the equipment: 'Верстак К-2-130' (blue bar) at 85% and 'Стенд УС-002' (red bar) at 36%.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Оборудование</th> <th>Процент загрузки (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Верстак К-2-130</td> <td>85%</td> </tr> <tr> <td>Стенд УС-002</td> <td>36%</td> </tr> </tbody> </table>															Оборудование	Процент загрузки (%)	Верстак К-2-130	85%	Стенд УС-002	36%
Оборудование	Процент загрузки (%)																			
Верстак К-2-130	85%																			
Стенд УС-002	36%																			
										Разраб.	Мамыкина Д.Д.			Лист						
										Провер.	Баранов П.Р.			2						
														Листов						
														2						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Н. контр.										

ФОР	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
АЗ			ФЮРА.644513.001 СБ	Сборочный чертеж	1	
				<u>Сборочные единицы</u>		
		1		Узел контакта	1	
		2		Контакт подвижный	1	
		3		Якорь	1	
		4		Прижим	1	
		5		Катушка	1	
				<u>Детали</u>		
		6		Скоба	1	
		7		Сердечник	1	
		8		Пружина	1	
		9		Шина	1	
		10		Шина	1	

ФЮРА.644513.001 СБ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат.
Разраб.		Мамыкина Д.Д.		
Провер.		Сипайлова Н.Ю.		
			Контактор постоянного тока	
			ТПУ ЭНИН гр.5Г2Г	
Утвердил				

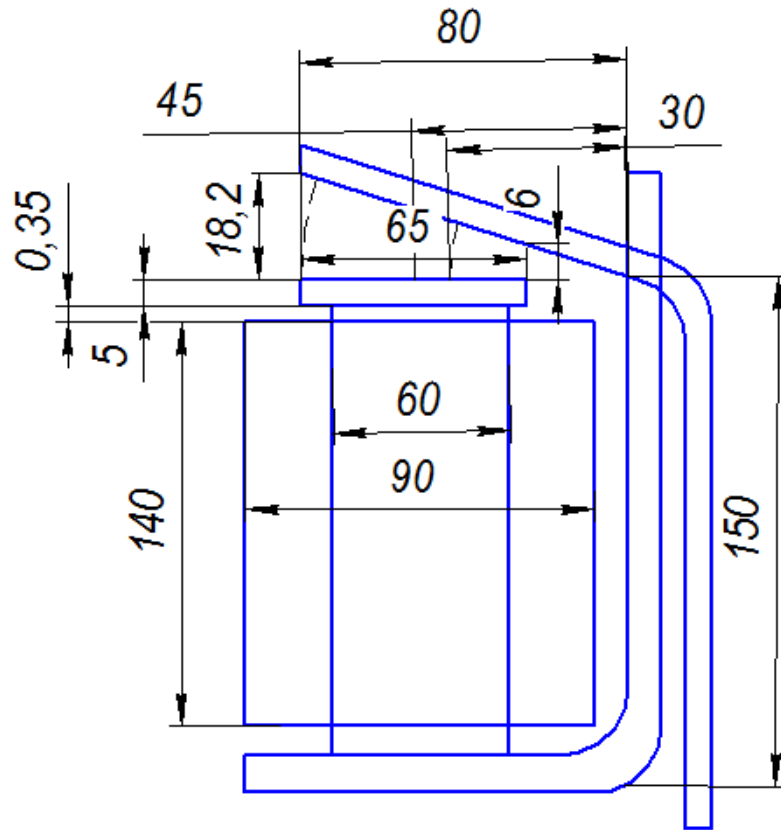




ФЮРА.325162.005

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Име. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Име. № подл.

ФЮРА.325162.005

Электромагнит  
контактора

Лит.	Масса	Масштаб
у	2,5	1:1
Лист 2		Листов 2

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Мамыкина Д.Д.		
Пров.		Сипайлова Н.Ю.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

ТПУ ЭНИН  
Группа 5Г2Г

Копировал

Формат А4

ФЮРА.523411.012СБ

Перв. примен.

Справ. №

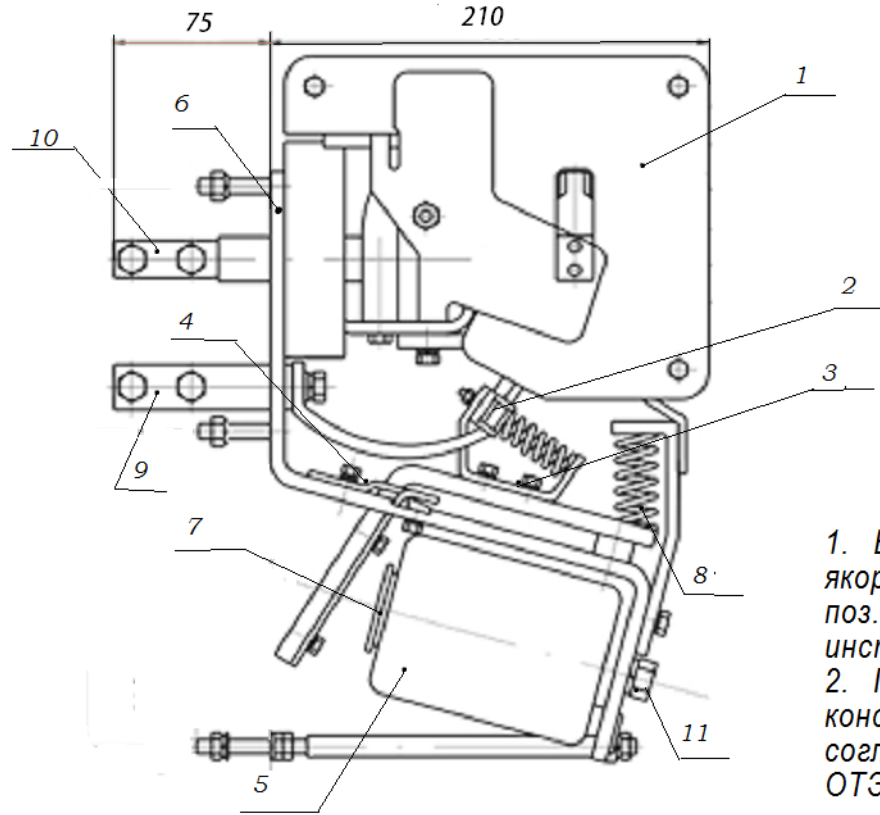
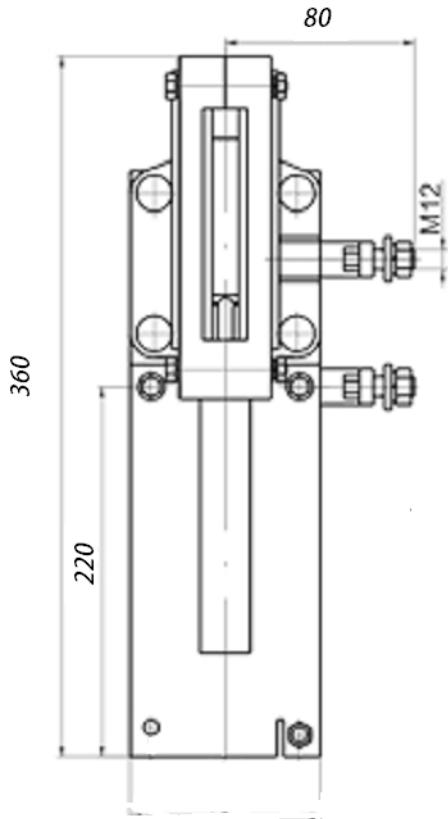
Полп. и дата

Име. № дубл.

Взам. инв. №

Полп. и дата

Име. № подл.



1. Воздушный зазор между якорем поз. 3 и сердечником поз. 7 настроить согласно инструкции ОТЭ.2744246.014.
2. После сборки провести консервацию контактора согласно инструкции ОТЭ.274453.027

				<b>ФЮРА.523411.012СБ</b>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Контактор постоянного тока</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Мамыкина Д.Д.					у	21	1:3
Пров.	Силайлова Н.О.					Лист 1 из 1		
Т.контр.						ТПУ ЭНИН Группа 5Г2Г		
Н.контр.								
Утв.								

Копировал

Формат А3