

**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 взрывозащищенного автоматического выключателя</b> |

УДК 621.316.572.001.63:537.521

Студент

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 5ГЗГ   | Бакиев Руслан Кайратович |         |      |

Руководитель

| Должность             | ФИО                             | Ученая степень, звание                  | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры<br>ЭКМ | Федянин Александр<br>Леонидович | Кандидат<br>технических наук,<br>доцент |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность             | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры<br>ЭБЖ | Король Ирина<br>Степановна | К.Х.Н.                 |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой              | ФИО                               | Ученая степень, звание                   | Подпись | Дата |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|---------|------|
| Заведующий<br>кафедрой ЭКМ | Гарганеев Александр<br>Георгиевич | Доктор<br>технических наук,<br>профессор |         |      |

Томск – 2017 г.

## Запланированные результаты обучения по направлению

### 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

| Результат обучения                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <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 Энергетический  
Направление подготовки (специальность) Электроэнергетика и электротехника  
(Электрические и электронные аппараты) \_\_\_\_\_  
Кафедра Электротехнические комплексы и материалы

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                      |
|--------|--------------------------|
| 5Г3Г   | Бакиев Руслан Кайратович |

Тема работы:

|                                                            |                        |
|------------------------------------------------------------|------------------------|
| Проектирование взрывозащищенный автоматический выключатель |                        |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                | №10915/с от 28.12.2016 |

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.05.2017

**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 – взрывозащищенный автоматический выключатель.

Технические данные:

- напряжение сети  $U_n=220/380$  В;
- частота сети  $f=50$  Гц;
- ток номинальный  $I=100$  А;
- максимальная температура окружающей среды  $T_c=+40$  °С ;

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <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. Обзор существующих конструкций выключателей.</li> <li>2. Расчетная часть.</li> <li>3. Разработка конструкции взрывозащищенного автоматического выключателя .</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. Принципиальная электрическая схема выключателя.</li> <li>2. Сборочный чертеж взрывозащищенного автоматического выключателя.</li> </ol>                                  |
| <p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Раздел</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Консультант</b>                                                                                                                                                                                                |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Грахова Е.А.                                                                                                                                                                                                      |
| Социальная ответственность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Король И.С.                                                                                                                                                                                                       |

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

**Задание выдал руководитель:**

| Должность             | ФИО                             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент<br>кафедры ЭКМ | Федянин Александр<br>Леонидович | к.т.н., доцент         |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 5ГЗГ   | Бакиев Руслан Кайратович |         |      |

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

Студенту:

|               |                          |
|---------------|--------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>               |
| 5ГЗГ          | Бакиев Руслан Кайратович |

|                            |                       |                                  |                                      |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Институт</b>            | <b>Энергетический</b> | <b>Кафедра</b>                   | <b>ЭКМ</b>                           |
| <b>Уровень образования</b> | Бакалавр              | <b>Направление/специальность</b> | Электрические и электронные аппараты |

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

|                                                                                                                                             |                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | -В реализации проекта задействованы 2 человека<br>руководитель проекта, студент-дипломник |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>                                                                                           | -Минимальный размер оплаты труда (на 2017 год) составляет 7800 руб                        |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  | - Отчисления во внебюджетные фонды – 27,1 % от ФОТ                                        |

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

|                                                                                                                                           |                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | -Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы<br>- SWOT-анализ                  |
| 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>                                                                        | -Планирование работ по научно-техническому исследованию;<br>-Смета затрат на разработку исследования |
| 3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>        | -Определение ресурсоэффективности проекта                                                            |

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

|                                                            |
|------------------------------------------------------------|
| 1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> |
| 2. <i>Оценочная карта QuaD</i>                             |
| 3. <i>График Ганта</i>                                     |
| 4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>                    |

|                                                             |  |
|-------------------------------------------------------------|--|
| <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> |
| Ассистент        | Грахова Елена Александровна |                               |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                          |                |             |
|---------------|--------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>               | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 5ГЗГ          | Бакиев Руслан Кайратович |                |             |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО                      |
|--------|--------------------------|
| 5ГЗГ   | Бакиев Руслан Кайратович |

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

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

|                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения. | Проектируемый взрывозащищенный автоматический выключатель можно использовать с целью защиты и контроля энергии систем. Такие выключатели применяются для задач коммутации, связанных с высоким и сверхвысоким напряжением от 110кВ. Рабочая зона выключателя-электростанции. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 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> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</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 эксплуатации взрывозащищенного автоматического выключателя относятся: повышенные уровни шума и вибрации, электромагнитные излучения. Уровень шума составляет 77 дБА, согласно ГОСТу 12.1.003-2014. Данное значение является допустимым. Уровень вибрации имеет диапазон от 0,1 до 10 Гц. Согласно ГОСТу 31191.4-2006. Значение вибрации соответствует допустимому значению.</p> <p>1.2. К опасным факторам при эксплуатации выключателя относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– термическая опасность, например, прикосновение к токоведущим частям. Согласно ГОСТу 12.1.038–82 ССБТ исключить возможность термической опасности можно соблюдая средства защиты;</li> <li>– повышенный уровень статического электричества (ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ). Основным способом исключения возникновения электростатического заряда является исправное заземление;</li> <li>– пожаробезопасность (ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ). В случае возникновения пожара, обесточить источник возгорания и потушить возгорание имеющимся огнетушителем или песком. Класс Е – пожары электроустановок.</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2. Экологическая безопасность:</b> <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> | 2.Влияние на селитебную зону, атмосферу и гидросферу при производстве взрывозащищенного автоматического выключателя постоянного тока отсутствует ввиду отсутствия выбросов. Воздействие на литосферу присутствует, потому что в конструкции проектируемого устройства имеются металлы. Решением проблемы, является специальная утилизация.                                                                                            |
| <b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <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>                                                 | 3.Наиболее типичной ЧС является короткое замыкание различных видов. Для предотвращения возникновения коротких замыканий необходимо выполнение ряда мероприятий: <ul style="list-style-type: none"> <li>-периодический контроль за состоянием изоляции</li> <li>-защита участка цепи от коротких замыканий и перенапряжений</li> <li>-выдача на пульт управления аварийного сигнала</li> </ul>                                         |
| <b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <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>                                                                                             | 4.Требования безопасности к рабочему месту в соответствии с ГОСТ 21752-76. Персонал, обслуживающий взрывозащищенные автоматические выключатели, должен знать инструкцию, устройство, принцип действия выключателя. Обслуживающий персонал должен иметь не ниже III группы допуска. Работник обязан знать правила внутреннего порядка. Длительность рабочей смены бригады по электроустановкам составляет 11 часов (статья 103 ТК РФ). |

|                                                             |                 |
|-------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | <b>11.05.17</b> |
|-------------------------------------------------------------|-----------------|

**Задание выдал консультант:**

| Должность          | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры ЭБЖ | Король И.С. | к.х.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 5ГЗГ   | Бакиев Руслан Кайратович |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 85 страниц, 19 рисунков, 22 таблицы, 6 источников, 5 приложений, 3 листа графического материала.

Работа представляет собой 4 раздела: выбор прототипа, расчетная часть, часть финансового менеджмента и часть социальной ответственности.

Автоматический выключатель, выключатель, электромагнит, контакты, силовая характеристика, дугогасительное устройство, технологический процесс, ресурсоэффективность.

Объектом исследования и разработки является взрывозащищенный автоматический выключатель.

Целью данной работы является проектирование автоматического выключателя, предназначенного для коммутирования цепей напряжением 380 В и током 100 А. В качестве прототипа был использован автоматический выключатель серии АЕ 2056М. Под изменением автоматического выключателя подразумевается разработка нового электрического аппарата, рассчитанного на технические параметры в соответствии с техническим заданием выпускной квалификационной работы.

Разработанный автоматический выключатель имеет малый уровень шума, потребление освещенности, безопасность от электрического тока и взрыва.



## Оглавление

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Введение.....</b>                                                           | <b>10</b> |
| 1 Системный анализ.....                                                        | 12        |
| 1.1 Выбор прототипа.....                                                       | 12        |
| <b>2 Расчетная часть .....</b>                                                 | <b>14</b> |
| 2.1 Расчет токоведущего контура.....                                           | 14        |
| 2.1.2 Определение размеров сечения шины по номинальному току .....             | 16        |
| 2.1.3 Расчет площади сечения и размера гибкого соединения.....                 | 19        |
| 2.2.1 Расчет контактного сопротивления .....                                   | 20        |
| 2.3 Тепловой расчет.....                                                       | 21        |
| 2.4 Расчет коммутирующих контактов.....                                        | 22        |
| 2.5.1 Расчет на динамическую стойкость .....                                   | 25        |
| 2.6 Выбор и расчет дугогасительного устройства.....                            | 26        |
| <b>3 Проектный расчет электромагнитного расцепителя.....</b>                   | <b>29</b> |
| 3.1 Расчет магнитной цепи по коэффициентам рассеяния.....                      | 32        |
| <b>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....</b> | <b>43</b> |
| 4.1. SWOT-анализ проектируемого взрывозащищенного выключателя .....            | 43        |
| 4.2. Организация работ по техническому проекту.....                            | 46        |
| 4.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования .....               | 47        |
| 4.2.2. Определение трудоемкости выполнения ТП.....                             | 48        |
| 4.2.3 Разработка графика проведения технического проекта.....                  | 50        |
| 4.3 Расчет материальных затрат.....                                            | 51        |
| 4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование.....                          | 53        |
| 4.3.3 Полная заработная плата исполнителей темы.....                           | 54        |
| 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....            | 55        |
| 4.3.5 Накладные расходы.....                                                   | 56        |

|           |                                                                                 |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4       | Определение ресурсоэффективности проекта.....                                   | 57        |
| <b>5.</b> | <b>Социальная ответственность.....</b>                                          | <b>60</b> |
| 5.1       | Производственная безопасность.....                                              | 60        |
| 5.2       | Анализ выявленных вредных факторов проектируемой<br>производственной среды..... | 62        |
| 5.3       | Анализ выявленных опасных факторов проектируемой<br>производственной среды..... | 64        |
| 5.4       | Экологическая безопасность.....                                                 | 67        |
| 5.5       | Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....                                      | 68        |
| 5.6       | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности<br>.....            | 69        |
| 5.7       | Заключение по разделу.....                                                      | 71        |
|           | <b>Заключение.....</b>                                                          | <b>72</b> |
|           | <b>Список использованных источников.....</b>                                    | <b>74</b> |

## **Введение**

На сегодняшний день очень сильно развиваются нефтегазовая, металлургическая и горнодобывающая сферы. Данные виды промышленности являются важной частью современной экономики России, так как наша страна является крупным поставщиком сырья. Данные области промышленности являются особо опасными и трудными в плане выполняемой работы. Поэтому применяются усиленные меры безопасности на объектах, которые относятся к этим сферам. Одним из аппаратов, отвечающих данным требованиям, являются взрывозащищенные автоматические выключатели. При выборе автоматического выключателя следует рассмотреть следующие моменты:

- При выборе выключателя его номинальные параметры сравниваются с параметрами сети в месте его установки
- Выключатель выбирается по наиболее тяжелому режиму работы, который возможен в эксплуатации.

Актуальность данной работы заключается в том, что нефтегазовая, металлургическая, горнодобывающая и химическая отрасли на сегодняшний день очень сильно развиваются, а наличие взрывозащищенных выключателей на данных объектах обеспечивает безопасность рабочего персонала и сведение аварийных ситуаций к минимуму.

Целью данной работы является проектирование автоматического выключателя, предназначенного для коммутирования цепей напряжением 380 В и током 100 А. В качестве прототипа был использован автоматический выключатель серии АЕ 2056М. При проектировании данного аппарата необходимо рассмотреть наиболее подходящие варианты автоматических выключателей и выбрать такой, который будет наиболее полно удовлетворять техническому заданию. Под изменением автоматического выключателя подразумевается разработка нового электрического аппарата,

рассчитанного на технические параметры в соответствии с техническим заданием выпускной квалификационной работы. В результате проделанной работы был спроектирован взрывозащищенный автоматический выключатель. В данном выключателе спроектирована дугогасительная система, удовлетворяющая показателям безопасности, что подтверждает целесообразность использования выбранных компонентов.

## 1 Системный анализ

### 1.1 Выбор прототипа

Существуют универсальные и установочные автоматы, предназначенные для работы в общепромышленных электрических сетях. Их отличие состоит лишь в том, что установочные автоматы имеют закрытый пластмассовый корпус и могут устанавливаться в общедоступных местах, а универсальные – такого корпуса не имеют и работают лишь в закрытых распределительных устройствах, куда имеется доступ лишь для обслуживающего персонала. На сегодняшний день выбор автоматических выключателей на рынке многообразен. Выключатели выпускаются в следующих исполнениях IP00, IP20.

При выборе выключателя его номинальные параметры сравниваются с параметрами сети в месте его установки. Выключатель выбирается по наиболее тяжелому режиму работы, который возможен в эксплуатации.

Отключение автоматов происходит под действием на механизм свободного расцепления элементов защиты – расцепителей.

#### Автоматические выключатели серии А3794

---

на номинальные токи 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630 А  
ТУ16-522.147-80



**А 3794С**

выдвижного исполнения с электромагнитным  
приводом



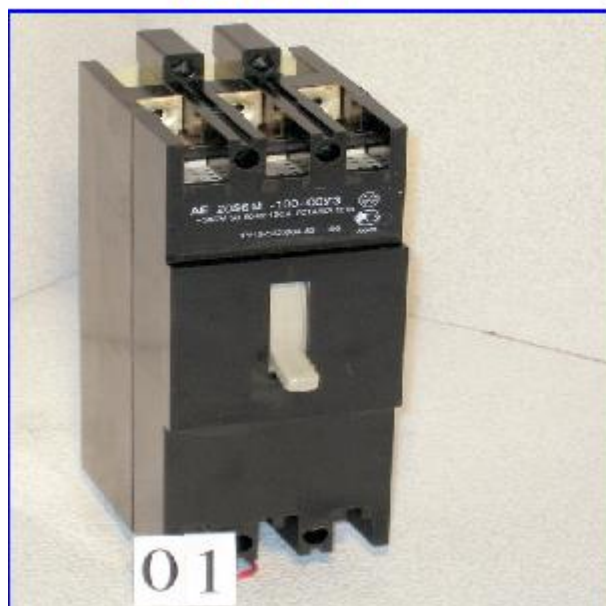
**А 3794С**

стационарного исполнения с ручным  
приводом

Выключатели предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при перегрузках и коротких замыканиях в цепях с номинальным напряжением до 440 В постоянного тока, до 660 В переменного тока частотой 50 или 60 Гц, нечастых оперативных коммутаций электрических цепей, а также для защиты электрических цепей при снижении напряжения до недопустимой величины.

Конструктивное исполнение автоматов разнообразно.

**AE 2056 M100**



Номинальный ток = 80А-100А

Номинальное напряжение = 380В

Тепловая отсечка  $I_n = 10$

Степень защиты IP20, число полюсов = 3

Предельная коммутационная способность 4 кА

Габаритные размеры мм, (ВхШхГ) - 120\*207\*75

Масса 1,6 кг

Сечение присоединяемого провода = 1 - 25мм

Коммутационная износостойкость, тыс циклов ВО = 5000

**AE 2066**

**AE 2063**



Номинальный ток = 16А - 250А

Номинальное напряжение = 660В

Тепловая отсечка  $I_n = 12$

Степень защиты IP00, число полюсов = 3

Габаритные размеры мм, (ВхШхГ) - 211\*112\*122

Масса 0,360 кг

## 2 Расчетная часть

### 2.1 Расчет токоведущего контура

$$I_{кз} = I_H \cdot 10 = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ А}; \quad n = \frac{a}{b} = (6 \div 10) = 6.$$

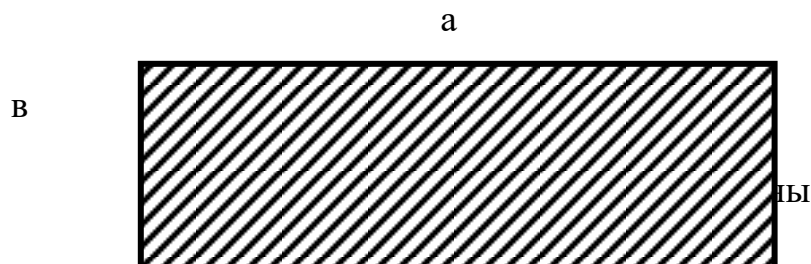
Допустимые температуры нагрева проводника и окружающей его изоляции неодинаковы. Диэлектрические свойства изоляции при высоких температурах значительно ухудшаются. Поэтому температура нагрева токоведущих частей аппаратов регламентируется ГОСТ 8865 – 70 в соответствии со свойствами применяемой изоляции. Допустимая температура проводника в продолжительном режиме  $T_d = 105^\circ \text{C}$ . Принимаем запас  $\Delta T = 5^\circ \text{C}$ .

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

Превышение температуры  $\tau = T - T_{окр} = 100 - 40 = 60^\circ \text{C}$ .

#### 2.1.1 Определение размеров сечения шины по термической стойкости

Термическая устойчивость аппарата – это его свойство выдерживать кратковременные тепловые действия токов короткого замыкания. Предельно допустимые температуры устанавливаются для деталей из металлов такими, при которых их механическая прочность существенно не уменьшается в сравнении с прочностью при  $20^\circ \text{C}$ .



Определяем размеры сечения шины для времени короткого замыкания, установленного рекомендациями МЭК. Расчет производим на время короткого замыкания  $t_{кз} = 3 \text{ с}$ . Принимаем материал шины – медь кадмиевая твёрдотянутая МК-ТВ.

Допустимая температура нагрева токоведущих частей в режиме короткого замыкания неизолированных токоведущих частей аппарата выполненных из меди  $T_K = 300^\circ\text{C}$ .

Определяем площадь сечения шины [1, стр. 415, формула 17-9]

$$S_T = I_{кз} \sqrt{\frac{t_{кз}}{A_K - A_H}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{3}{(3,8 - 1,5) \cdot 10^4}} = 11,421 \text{ мм}^2,$$

где  $A_K$  и  $A_H$  определяем из кривых нагрева проводников при кратковременном протекании тока: для меди [1, стр. 415, рис. 17-2].

$$A_K = 3,8 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot c}{\text{мм}^4} \text{ при } T_K = 300^\circ\text{C} \text{ и } A_H = 1,5 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot c}{\text{мм}^4} \text{ при } T = 100^\circ\text{C}.$$

С учетом того, что  $S = a \cdot b$  и  $n = \frac{a}{b} = 6$ , получим

$$a_T = \sqrt{n \cdot S_T} = \sqrt{6 \cdot 11,421} = 8,2 \text{ мм},$$

$$b_T = \sqrt{\frac{S_T}{n}} = \sqrt{\frac{11,421}{6}} = 1,38 \text{ мм}.$$

Принимаем  $b_T = 1,4 \text{ мм}$ .

$$\text{Уточняем значение } a_T = \frac{S_T}{b_T} = \frac{11,421}{1,4} = 8,1 \text{ мм}$$

$$\text{Уточняем значение площади сечения шины } S_T = a_T \cdot b_T = 8,1 \cdot 1,4 = 11,34 \text{ мм}^2.$$



### 2.1.2 Определение размеров сечения шины по номинальному току

Тепловые процессы в электрических аппаратах протекают в пределах ограниченных температур, поэтому сложные процессы одновременного действия трех видов теплообмена (конвекция, излучение и теплопроводность) можно рассматривать как отдельные действия каждого вида, а затем складывать параметры, полученные в результате отдельных расчетов. При этом учитываем действие только двух видов (конвекция и излучение) вследствие незначительного влияния теплопроводности.

Определяем значение средней температуры  $T_{cp} = T_{окр} + \frac{\tau}{2} = 40 + \frac{60}{2} = 70^{\circ}C$ .

Коэффициент теплоотдачи конвекцией

$$K_{ТОК} = \left(1,39 - \frac{T_{cp}}{700}\right) \left(\frac{\tau}{a_T}\right)^{0,25} = \left(1,39 - \frac{70}{700}\right) \cdot \left(\frac{60}{0,0082}\right)^{0,25} = 11,931 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Коэффициент теплоотдачи излучением

$$K_{ТОи} = 0,227 \cdot \zeta \cdot \left(\frac{T_{cp} + 273}{100}\right)^3 = 0,227 \cdot 0,04 \cdot \left(\frac{70 + 273}{100}\right)^3 = 0,366 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}},$$

где  $\zeta$  – степень черноты, для меди [3, стр. 590, табл. П5]  $\zeta = 0,04$ .

Определяем суммарный коэффициент теплоотдачи

$$K_{ТО} = K_{ТОК} + K_{ТОи} = 11,931 + 0,366 = 12,297 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Определяем удельное сопротивление меди при температуре  $T$  [1, стр.382, формула 15-3].

$$\rho = \rho_{20}(1 + \alpha(T - 20)) = 1,84 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,0043(100 - 20)) = 2,473 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где  $\rho_{20}$  - удельное сопротивление медного проводника при  $20^{\circ}C$ , [1, стр. 382, табл. 15-3]  $\rho_{20} = 1,84 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ,

$\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления [1, стр. 383], в расчетах для меди принимают  $\alpha = 0,0043 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ .

Определяем значение геометрического показателя:

$$\Gamma = \frac{I_H^2 \cdot \rho \cdot 10^9}{K_{TO} \cdot \tau} = \frac{100^2 \cdot 2,473 \cdot 10^{-8} \cdot 10^9}{12,297 \cdot 60} = 335,17 \text{ мм}^3.$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{\Gamma}{2 \cdot n(n+1)}} = \sqrt[3]{\frac{335,17}{2 \cdot 6 \cdot (6+1)}} = 1,58 \text{ мм}.$$

Округляем  $b$  по стандартному ряду значений  $b=1,6$  мм. (Анурьев "Справочник технолога машиностроителя")

$$a = \sqrt{\frac{\Gamma}{2b} + \frac{b^2}{4}} - \frac{b}{2} = \sqrt{\frac{335,17}{2 \cdot 1,6} + \frac{1,6^2}{4}} - \frac{1,6}{2} = 10,1 \text{ мм}.$$

Определяем фактическую площадь шины  $S_H = ab = 9,4 \cdot 1,6 = 16,16 \text{ мм}^2$ .

Выбираем размеры шины, рассчитанные по номинальному току ( $S_H$ ), т.к. данные размеры удовлетворяют и расчету по термической стойкости.

Проверка

Определяем превышение температуры и термическую стойкость.

Превышение температуры поверхности шины над температурой окружающей среды.

$$P_{20} = \frac{I_H^2 \cdot \rho_{20}}{S_H} = \frac{100^2 \cdot 1,84 \cdot 10^{-8}}{16,16 \cdot 10^{-6}} = 11,386 \text{ Вт/м}.$$

$$\Pi = 2 \cdot (a + b) = 2 \cdot (10,1 + 1,6) 10^{-3} = 0,023 \text{ м}.$$

$$\tau = \frac{P_{20}(1 + \alpha_{20}(T - 20))}{K_{TO} \Pi - \alpha_{20} P_{20}} = \frac{11,386(1 + 0,0043(100 - 20))}{12,297 \cdot 0,023 - 0,0043 \cdot 11,36} = 65,4^0 C.$$

Из результата видно, что условия допустимого нагрева не выполняются. Тогда задаемся новыми размерами шины:

$$a=9,6\text{мм};$$

$$b=2 \text{ мм};$$

$$\text{Тогда площадь шины } S = ab = 9,6 \cdot 2 = 19,2 \text{ мм}^2 ;$$

$$\Pi = 2 \cdot (a + b) = 2 \cdot (9,6 + 2) \cdot 10^{-3} = 0,023 \text{ м.}$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией

$$K_{ТОК} = \left(1,39 - \frac{T_{cp}}{700}\right) \left(\frac{\tau}{a_T}\right)^{0,25} = \left(1,39 - \frac{70}{700}\right) \cdot \left(\frac{60}{0,0096}\right)^{0,25} = 11,47 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи

$$K_{TO} = K_{ТОК} + K_{ТОИ} = 11,47 + 0,366 = 11,836 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

$$P_{20} = \frac{I_H^2 \cdot \rho_{20}}{S} = \frac{100^2 \cdot 1,84 \cdot 10^{-8}}{19,2 \cdot 10^{-6}} = 9,583 \text{ Вт/м.}$$

$$\tau = \frac{P_{20}(1 + \alpha_{20}(T - 20))}{K_{TO} \Pi - \alpha_{20} P_{20}} = \frac{9,583(1 + 0,0043(100 - 20))}{11,836 \cdot 0,023 - 0,0043 \cdot 9,583} = 55,1^0 C.$$

Из условия применения автоматических выключателей эта температура допустима.

Определяем ток короткого замыкания для выбранного сечения для времени короткого замыкания  $t_{кз} = 1 \text{ с}$

$$I_{кз} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot C \cdot S^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + \alpha T_{кз}}{1 + \alpha T_H}\right)}{\rho \cdot \alpha \cdot t_{кз}}} = \sqrt{\frac{8800 \cdot 390 \cdot 19,2^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + 0,0043 \cdot 300}{1 + 0,0043 \cdot 100}\right)}{1,84 \cdot 10^{-8} \cdot 0,0043 \cdot 1}} = 1389 \text{ А}$$

где  $\gamma$  - плотность, для меди [1, стр. 30, табл. 1-3]  $\gamma = 8800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$

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

$$t_{K3} = 3 \text{ с}.$$

$$I_{K3} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot C \cdot S^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + \alpha T_{K3}}{1 + \alpha T_H}\right)}{\rho \cdot \alpha \cdot t_{K3}}} = \sqrt{\frac{8800 \cdot 390 \cdot 19,2^2 \cdot (10^{-6})^2 \ln\left(\frac{1 + 0,0043 \cdot 300}{1 + 0,0043 \cdot 100}\right)}{1,84 \cdot 10^{-8} \cdot 0,0043 \cdot 1}} = 8022 \text{ А}$$

### 2.1.3 Расчет площади сечения и размера гибкого соединения

Материал гибкого соединения – тонкие медные проволоочки, скрученные в жгуты, которые сплетены [1, стр. 509]. Сечение меди шунта должно быть близким к сечению шины  $S=19,2 \text{ мм}^2$ . Поскольку шунт изготовлен из круглых проволочек, коэффициент заполнения его геометрического сечения:

$$k_3 = \frac{S}{d^2} = \frac{19,2}{4,05^2} = 1,171$$

Геометрическое сечение гибкого шунта:

$$S_{\text{ги}} = \frac{S}{k_3} = \frac{19,2}{1,171} = 16,4 \text{ мм}^2.$$

Площадь сечения гибкого соединения должна быть приблизительно такой же, как и у остальных токоведущих частей, хотя из-за лучших условий охлаждения допустимо уменьшить эту площадь.

### 2.2.1 Расчет контактного сопротивления

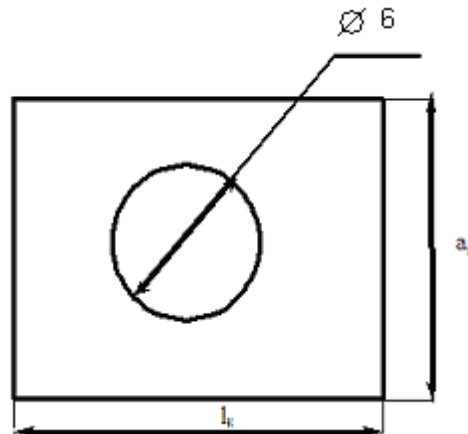


Рисунок 2. Эскиз болтового соединения

Выбираем размер болта по значению номинального тока М6. Материал болта сталь 3. Защитное покрытие – припой оловянный.

$$F_{\delta} = 230 \text{ кгс.}$$

$$a_k = l_k = 15 \text{ мм.}$$

Определяем усилие болта

$$P_0 = \frac{F_{\delta}}{l_k^2} = \frac{230}{1,5^2} = 102,2 \text{ кгс/см}^2.$$

Проверяем условие  $P_0 > 100 \text{ кгс/см}^2$  ( $102,2 > 100$ ) условие выполнено.

Рассчитываем переходное сопротивление

$$R_{\text{пх}} = \frac{K_{\text{пх}}}{F_{\delta}^m} = \frac{0,14 \cdot 10^{-3}}{230^{0,7}} = 3,11 \cdot 10^{-6} \text{ Ом,}$$

где  $m=0,7$  для пластической деформации.

Сопротивление болтового соединения

$$R_K = R_{\text{ПХ}} + K_{\text{Ш}} \cdot \rho \cdot \frac{l_K}{a_K b_T} = 3,11 \cdot 10^{-6} + 0,62 \cdot 1,84 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{15 \cdot 10^{-3}}{9,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 12,02 \cdot 10^{-6} \text{ Ом},$$

$$\text{где } K_{\text{Ш}} = 0,5 + 0,9 \frac{b}{a_K} = 0,5 + 0,9 \frac{2}{15} = 0,62.$$

$$R_{\text{ПП}} = \rho \cdot \frac{l_K}{a \cdot b} = 1,84 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{15 \cdot 10^{-3}}{9,6 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 14,38 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}.$$

Рассчитываем падение напряжения на контакте

$$U_K = R_K I_H = 12,02 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 1,2 \text{ мВ}.$$

## 2.3 Тепловой расчет

Рассчитываем температуру контакта

$$\Theta_K = \Delta\Theta_{\text{КХ}} + \Theta_P + \Theta_{\text{Ш}} + \Theta_{\text{ОКР.СР}}.$$

$$\Delta\Theta_{\text{КХ}} = \frac{U_K^2}{8\lambda\rho} = \frac{(1,2 \cdot 10^{-3})^2}{8 \cdot 390 \cdot 1,84 \cdot 10^{-8}} = 0,03^\circ\text{C}, \text{ полученное значение меньше (4-}$$

10) $^\circ\text{C}$ , что является верным критерием расчета.

$$\Theta_P = \frac{P_K}{2\sqrt{\lambda \cdot S \cdot \Pi \cdot K_{\text{ТО}}}} = \frac{0,12}{2\sqrt{390 \cdot 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 23,2 \cdot 10^{-3} \cdot 11,836}} = 1,3^\circ\text{C},$$

$$\text{где } P_K = I_H^2 R_K = 100^2 \cdot 12,02 \cdot 10^{-6} = 0,12 \text{ Вт},$$

$$\Pi = 2(a+b) = 2(9,6+2) \cdot 10^{-3} = 23,2 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$S = a \cdot b = 9,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 19,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$\Theta_{\text{Ш}} = \frac{I^2 \cdot R_K \cdot K_\delta}{K_{\text{ТО}} \cdot \Pi} = \frac{100^2 \cdot 12,02 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{11,836 \cdot 23,2 \cdot 10^{-3}} = 0,43^\circ\text{C}$$

Значение  $K_{\text{ТО}} = 11,83 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$ , берем из предыдущих расчетов.

Т.о. температура контакта равна

$$\Theta_K = \Delta\Theta_{KH} + \Theta_P + \Theta_{III} + \Theta_{OKP.CP} = 0,025 + 1,3 + 0,43 + 40 = 41,75^{\circ}\text{C}.$$

$$, \lambda = 390 \text{ Вт/(м·град)}.$$

## 2.4 Расчет коммутирующих контактов

Форму площадки контактов принимаем плоскую для подвижного и неподвижного контактов. Фактически контакт плоскостной. Количество точек соприкосновения контактов  $n=3$ . Материал коммутирующих контактов – серебро, окись кадмия с мелкодисперсной структурой КМК-А10м.

$$\rho_{20} = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad \alpha = 0,0036 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}; \quad \lambda = 325 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}.$$

Принимаем следующие размеры контактных накладок по ГОСТ 3884-67:

длина  $l=10$  мм, ширина  $b=6$  мм, высота  $h=1,4$  мм.

Находим радиус закругления контактов

$$\frac{2(l+b)}{n} = \pi D$$

$$D = \frac{2 \cdot (l+b)}{n \cdot \pi} = \frac{2 \cdot (10+6) \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 3,14} = 3,39 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$R_{закр} = \frac{D^2 + \Delta h^2}{2 \cdot \Delta h} = \frac{3,39^2 + 0,5^2}{2 \cdot 0,5} = 11,77 \text{ мм}.$$

У контактов на основе серебра допустимая температура должна быть меньше  $200^{\circ}\text{C}$ . Принимаем  $\Theta_{дон} = 120^{\circ}\text{C}$ , т.к. контакты расположены близко друг к другу.

$$\rho = \rho_{20} \left( 1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha (\Theta_{дон} - 20) \right) = 2,8 \cdot 10^{-8} \left( 1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0036 (120 - 20) \right) = 3,47 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Определяем конечное контактное нажатие

$$F_K = f_K \cdot I_H = (20 \div 25) \cdot 100 = 2000 \div 2500 \text{ гс} = 19,6 \div 24,5 \text{ Н},$$

где  $f_K = (20 \div 25)$  гс/А для автоматических выключателей. Окончательное значение  $F_K = 24$  Н.

Величина начального нажатия контактов принимается равной 0,4-0,75 величины конечного нажатия. Принимаем

$$F_{KH} = 0,55 F_K = (19,6 \div 24,5) 0,55 = (10,78 \div 13,47) \text{ Н}.$$

Задаемся упругой деформацией контактов

$$a = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_K \cdot R_{закр}}{E \cdot n}} = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{24 \cdot 0,01177}{13 \cdot 10^{10} \cdot 3}} = 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Для проверки вида деформации удельное давление по конечному нажатию

$$G_C = \frac{4 \cdot F_K}{\pi \cdot a^2} = \frac{4 \cdot 24}{3,14 \cdot (0,07 \cdot 10^{-3})^2} = 5123 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2.$$

Деформация является упругой, т.к. условие  $G_C < P_{см}$  выполняется.

Определяем сопротивление контакта

$$R_{CT} = \frac{\rho}{2 \cdot a \cdot n} = \frac{3,47 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 0,07 \cdot 10^{-3} \cdot 3} = 0,826 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}.$$

$$R_{ПР} = \frac{k_{ПХ}}{F^m} \left( 1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot (\Theta_{дон} - 20) \right) = \frac{(0,2 \div 0,3) \cdot 10^{-3}}{24^{0,33}} \left( 1 + \frac{2}{3} \cdot 0,0036(120 - 20) \right) = (0,7 \div 1,027) \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

где  $k_{ПХ}$  — коэффициент, учитывающий материал и состояние контактных поверхностей  $k_{ПХ} = (0,2 \div 0,3) 10^{-3}$ . Так как деформация упругая  $m = 0,33$ .

Принимаем значение переходного сопротивления  $R_{ПР} = 1,027 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$ .



Рассчитываем напряжение на контакте:

$$U_K = I_K \cdot R_{\text{лп}} = 100 \cdot 1,027 \cdot 10^{-4} = 10,27 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

Рассчитанное напряжение должно находиться в пределах до 30 мВ для данного материала. Данное условие в расчете выполняется.

Рассчитываем температуру коммутирующего контакта:

$$\Theta_{KK} = \Delta\Theta_{KX} + \Theta_P + \Theta_{\text{ш}} + \Theta_{\text{окр.ср}}.$$

Определяем превышение температуры контактной площадки над температурой металла контакта:

$$\Delta\Theta_{KX} = \frac{U_K^2}{8 \cdot \lambda \cdot \rho} = \frac{(10,27 \cdot 10^{-3})^2}{8 \cdot 325 \cdot 3,47 \cdot 10^{-8}} = 1,1^\circ \text{C}.$$

Превышение температуры не выходит за пределы (5-10) °С, т.е. температура не превышает допустимых значений.

$$\Theta_P = \frac{P_K}{2\sqrt{\lambda \cdot S \cdot \Pi \cdot K_{\text{то}}}} = \frac{1,4}{2\sqrt{325 \cdot 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 23,2 \cdot 10^{-3} \cdot 11,836}} = 16,9^\circ \text{C},$$

$$\text{где } P_K = I_H^2 R_{\text{лп}} = 100^2 \cdot 1,027 \cdot 10^{-4} = 1,4 \text{ Вт},$$

Т.о. температура коммутирующего контакта равна:

$$\Theta_K = \Delta\Theta_{KX} + \Theta_P + \Theta_{\text{ш}} + \Theta_{\text{окр.ср}} = 1,1 + 16,9 + 0,43 + 40 = 58,6^\circ \text{C}.$$

Из расчета видно, что металлокерамические контакты полностью удовлетворяют условиям эксплуатации, так как температура контактной площадки меньше, чем предельно допустимая.

## 2.5 Расчет на термическую стойкость

Определяем ток сваривания контактов

$$I_{CB} = \frac{2 \cdot U_{пл} \cdot \sqrt{F_K}}{\rho \cdot \sqrt{\pi \cdot H_B}} = \frac{2 \cdot 0,37 \sqrt{24}}{3,47 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^8}} = 1818 \text{ А},$$

где  $U_{пл}$  – напряжение плавления металла контактов. Для контактов на основе серебра  $U_{пл} = 370 \text{ мВ}$ .

Определяем ток сваривания по силе нажатия.

$$I_{CB} = k_{CB} \cdot \sqrt{F_K} = (1640 \div 1200) \sqrt{2,4} = (2540 \div 1549) \text{ А},$$

где  $k_{CB}$  – коэффициент сваривания, замкнутых контактов,  $k_{CB} = (1640-1200) \text{ А/кгс}$ .

Ожидаемые по расчетам токи сваривания превышают ток короткого замыкания.

### 2.5.1 Расчет на динамическую стойкость

Проверяем силу отброса контактов

$$F = 10^{-7} (I_{КЗ})^2 \cdot \ln(D / 2a) = 10^{-7} \cdot 1000^2 \cdot \ln\left(\frac{3,32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,07 \cdot 10^{-3}}\right) = 0,3 \text{ Н},$$

Для надежной работы аппарата необходимо, чтобы выполнялось условие,  $F$  не превышало (10-20) % от значения  $F_K$  ((10-20)%  $F_K = (2,4-4,8) \text{ Н}$ ). Данное условие выполняется.

## 2.6 Выбор и расчет дугогасительного устройства

При номинальных токах до первых сотен ампер до 1000 В, при небольшом числе включений и отключений в час целесообразно применять гашение дуги переменного тока в камере с решеткой, состоящих из стальных пластин.

Дугогасительная решетка дает возможность значительно сократить длину дуги и гасить ее в ограниченном объеме при малых звуковом и световом эффекте. Это привело к широкому применению дугогасительных камер с решеткой у автоматических выключателей, у электромагнитных контакторов для легкого режима работы (до 600 включений в час) и у рубильников.

Возникающая при отключении электрической цепи между контактами дуга втягивается в решетку, за счет электро- и аэродинамических сил. Главным фактором при гашении дуги переменного тока в решетке являются восстанавливающая прочность  $U_{\text{про}}^0$  околоскатодной зоны каждого дугового промежутка между пластинами и число  $n$  этих промежутков.

Индуктивность отключаемой цепи:

$$L = \frac{U_H}{I_{om} \cdot \omega} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \phi} = \frac{380}{1000 \cdot 314} \cdot \sqrt{1 - 0.5^2} = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

где  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 314 \text{ сек}^{-1}$  - угловая частота;

$I_{om}$  – отключаемый ток, который меняется в диапазоне до  $10 \cdot I_H = 1000 \text{ А}$

Скорость роста прочности пробивного напряжения дуги:

$$K_p^0 = \frac{\left[ 820 + \delta_{nl}^2 \cdot (\sqrt{I_{om}} - 5,7) \cdot \sqrt{\Delta_{nl}} \cdot 10^6 \right]}{2 \cdot \sqrt{I_{om}} \cdot (40 + \sqrt{T - 273})} =$$

$$= \frac{\left[ 820 + 2,3^2 \cdot (\sqrt{1000} - 5,7) \cdot \sqrt{1} \cdot 10^6 \right]}{2 \cdot \sqrt{1000} \cdot (40 + \sqrt{337,3 - 273})} = 4,51 \cdot 10^4 \text{ (В/с)},$$

где  $\delta_{нл} = (2-12)$  мм – расстояние между пластинами, которое принимаем  $\delta_{нл} = 2,3$  мм;

$\Delta_{нл} = (1-5)$  мм – толщина пластин, принимаем  $\Delta_{нл} = 1$  мм по [1, с.173];

$$T = 293 + 0,018 \cdot I_{om} \cdot \sqrt{z} + 0,05 \cdot z = 293 + 0,018 \cdot 1000 \cdot \sqrt{6} + 0,05 \cdot 6 = 337,3 \text{ К};$$

$z = 6$  – количество включений в час, ограниченное техническими условиями на выключатель.

$$K_2 = \frac{L \cdot I_{om}^{2/3} \cdot k_p^0}{1300} = \frac{1,04 \cdot 10^{-3} \cdot 1000^{2/3} \cdot 4,51 \cdot 10^4}{1300} = 3,64$$

Начальная восстанавливающаяся прочность, отнесенная к моменту перехода тока через ноль, которая определяется по эмпирической зависимости по [1, с.173]:

$$U_n^0 = 0,72 + 0,72 \cdot \delta_{нл} = 0,72 + 0,72 \cdot 2,3 = 2,376 \text{ В}$$

Минимальное напряжение решетки, определяющееся по эмпирической зависимости по [1, с.174]:

$$U_{\partial}^0 = (110 + 0,003 \cdot I_{om}) \cdot (0,7 + 0,04 \cdot \delta_{нл}) = (110 + 0,003 \cdot 1000) \cdot (0,7 + 0,04 \cdot 2,3) = 89,49 \text{ В}$$

Определяем число пластин при апериодическом характере восстановления напряжения по эмпирической формуле [1, стр.175]

$$n_{na} \geq 0,6 + \left[ \frac{K_H \cdot U_H - K_2 \left( 1 + \ln \frac{K_H \cdot U_H}{K_2} \right)}{U_n^0 + 0,35 \cdot U_\partial^0 \cdot K_H} \right]^2 =$$

$$= 0,6 + \left[ \frac{0,955 \cdot 380 - 3,64 \left( 1 + \ln \frac{0,955 \cdot 380}{3,64} \right)}{2,376 + 0,35 \cdot 89,49 \cdot 0,955} \right]^2 = 11 \text{ шт.}$$

$$K_H = 0,9 \cdot K_{cx} \cdot \sqrt{1 - \cos \phi_0} = 0,9 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{1 - 0,5} = 0,955,$$

где  $K_{cx} = 1,5$  - коэффициент схемы, определяется схемой отключаемой цепи и схемой отключаемого аппарата.

$\cos \phi_0 = 0,5$  - коэффициент мощности отключаемой цепи, выбираем наихудший вариант по [1, стр.164].

Принимаем число пластин, равное  $n_{na} = 11$  шт.

Проверка условия апериодичности:

Собственная частота сети, определяющая ее «жесткость»:

$$f_0 > \frac{415 \cdot \sqrt{n_{na} - 0,6}}{L \cdot I_{om}^{2/3}} = \frac{415 \cdot \sqrt{11 - 0,6}}{1,04 \cdot 10^{-3} \cdot 1000^{2/3}} = 12770 \text{ Гц};$$

Для заводских разветвленных цепей при отключении двигателей для кабельных линий  $f_0 = 5000 - 20000$  Гц [1, с.165]. Таким образом, неравенство или условие апериодичности выполнено.

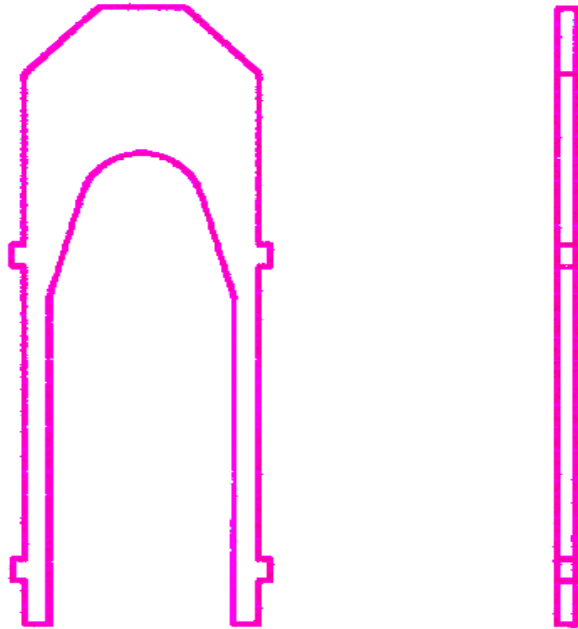
Для того чтобы за время, равное двум полупериодам, дуга не вышла за

пределы решетки, минимальная длина пластин  $l_{пл}$  должна быть определена

по выражению [1, с.175].

$$l_{nl} = 1,73 \cdot \delta_{nl}^2 \cdot t \cdot \sqrt[3]{I_{om}} = 1,73 \cdot 2,3^2 \cdot \frac{1}{50} \cdot \sqrt[3]{1000} = 1,8 \text{ см};$$

Остальные размеры пластин дугогасительной решетки выбираются



конструктивно.

Рисунок 3. Пластина дугогасительной решетки

### 3 Проектный расчет электромагнитного расцепителя

Конструктивный фактор:

$$\Gamma = \frac{\sqrt{2 \cdot F_{\text{э}}}}{\delta_{om}} = \frac{\sqrt{2 \cdot 0,6}}{3} = 0,365 \frac{H^{0,5}}{мм},$$

где  $F_{\text{э}} = 0,6 \text{ Н}$  – тяговое усилие электромагнита.

В качестве магнитного материала выбираем низкоуглеродистую электротехническую сталь.

Выбор величины магнитной индукции и коэффициентов рассеяния

Максимальная индукция в сердечнике при притянutom якоре находится в пределах  $B_{\max np} = (1-1,2)$  Тл, принимаем  $B_{\max np} = 1,1$  Тл.

При предварительном расчете размеров сердечника магнитопровода величину индукции в рабочем воздушном зазоре при отпущенном якоре ориентировочно выбираем по величине геометрического показателя по графику [1, с. 267, рис. 10-9]. Принимаем  $B_\delta = 0,26$  Тл.

Определим намагничивающую силу обмотки:

$$U_{\delta om} = \frac{1}{\mu_0} \cdot B_\delta \cdot \delta_{om} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} \cdot 0,26 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,621 \cdot 10^3 \text{ А},$$

где  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma}{\text{м}}$  - магнитная проницаемость воздуха.

Намагничивающая сила срабатывания:

$$I \cdot w_{cp} = 1,53 \cdot U_{\delta om} = 1,53 \cdot 621 = 950 \text{ А}$$

Определение основных размеров и параметров электромагнита

Размеры одновитковой обмотки принимаем из прототипа. В качестве обмотки выступает токоведущий контур (гибкий шунт). Сечение витка  $S_B = 20,5 \text{ мм}^2$ .

$$\text{Диаметр витка } d_\epsilon = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{об}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20,5}{3,14}} = 5,2 \text{ мм}.$$

Длина сердечника  $l_c = 11,5 \text{ мм}$ .

Диаметр сердечника  $d_c = 5,7 \text{ мм}$ .

$$\text{Сечение сердечника } S_c = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 5,7^2}{4} = 25,5 \text{ мм}^2.$$

От способа соединения сердечника с основанием зависит величина магнитного сопротивления в месте перехода магнитного потока из сердечника в основание. В прототипе применено соединение – заклепка, которая обеспечивает хорошее прижатие, что уменьшает сопротивление.

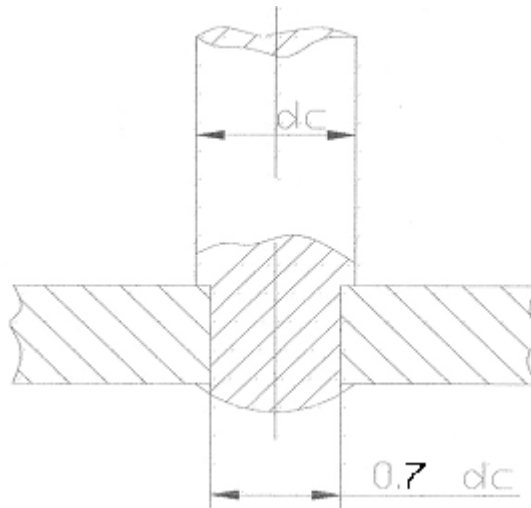


Рисунок 4. Соединение сердечника с основанием

Сечение якоря принимаем примерно равным сечению сердечника. С целью его облегчения, что способствует увеличению быстродействия и уменьшает удары, сечение якоря можно уменьшить. С другой стороны, поток в якоре меньше потока в сердечнике на величину потока рассеяния, поэтому можно принять:

$$S_{\text{я}} = 0,9 \cdot S_{\text{с}} = 0,9 \cdot 25,5 = 22,95 \text{ мм}^2.$$

Толщина якоря:

$$a_{\text{я}} = \frac{S_{\text{я}}}{b_{\text{я}}} = \frac{22,95}{15,4} = 1,5 \text{ мм},$$

где  $b_{\text{я}} = 15,4 \text{ мм}$  – ширина якоря из прототипа.

Длина якоря из прототипа  $l_{\text{я}} = 9,4 \text{ мм}$ .



### 3.1 Расчет магнитной цепи по коэффициентам рассеяния

В П-образных электромагнитах клапанного типа с технологическим зазором у основания сердечника учитывается геометрическая нейтраль. Не учет положения геометрической нейтрали не приводит к значительному увеличению погрешности расчета, поэтому выполняем упрощенный расчет без учета положения геометрической нейтрали.

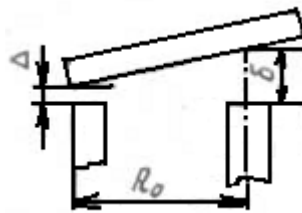
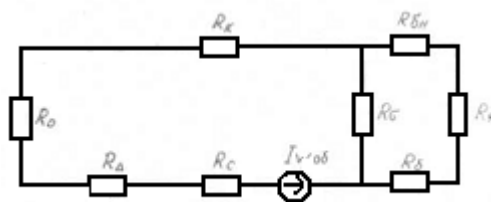


Рисунок 5. Эскиз электромагнита для определения магнитной



проводимости рабочего зазора

Построим схему замещения электромагнита.

Рисунок 6. Схема замещения магнитной цепи.

Рабочий зазор образуется плоскостью якоря и плоским торцом цилиндрического сердечника.

Расчет магнитной проводимости и ее производной по рабочему зазору

$$G_{\delta} = \mu_0 \cdot \left( \frac{\pi d_c^2}{4\delta} x + 0,96 d_c + \frac{\pi d_c}{0,63} \right) =$$

$$= 1,2566 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{3,14 \cdot 0,57^2}{4 \cdot 0,3} \cdot 1,02 + 0,96 \cdot 0,57 + \frac{3,14 \cdot 0,57}{0,63} \right) = 5,35 \cdot 10^{-8} \text{ Гн},$$

где  $\mu_0$  - магнитная проницаемость воздуха и немагнитных материалов,

$x$  - коэффициент, учитывающий непараллельность плоскостей, образующих рабочий зазор

$$x = 2\rho(\rho - \sqrt{\rho^2 - 1}) = 2 \cdot 3,3 \cdot (3,3 - \sqrt{3,3^2 - 1}) = 1,02,$$

$$\rho = \frac{2R_0}{d\left(1 - \frac{\delta_k}{\delta_H}\right)} = \frac{2 \cdot 0,94}{0,57 \cdot \left(1 - \frac{0,001}{0,3}\right)} = 3,3.$$

$$\frac{dG_\delta}{d\delta} = -\mu_0 \frac{\pi d_c^2}{4\delta^2} = -1,2566 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,57^2}{4 \cdot 0,3^2} = -0,36 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/см} = -0,36 \cdot 10^{-5} \text{ Гн/м}.$$

Расчет магнитной проводимости нерабочего зазора суммированием простых объемных фигур поля методом Ротерса.

На основе анализа простых объемных фигур, составляющих нерабочий зазор, получено уравнение полной проводимости.

$$G_{\delta H} = \mu_0 \left[ \frac{b}{\varphi} \ln \frac{R_2}{R_1} + 0,077 \delta_{\max} + \frac{2a_k}{\pi} \ln \frac{a_{\text{я}} + \delta_{cp}/2}{\delta_{cp}/2} + A \right] =$$

$$= 1,2566 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{1,67}{0,307} \ln \frac{0,153}{0,003} + 0,077 \cdot 0,049 + \frac{2 \cdot 0,15}{3,14} \ln \frac{0,15 + 0,025/2}{0,025/2} + 4,45 \right] = 27,18 \cdot 10^{-8} \text{ Гн}$$

$$\text{где } \delta_{\max} = \frac{\delta - \delta_k}{R_0} a_k + \delta_k = \frac{0,3 - 0,001}{0,94} 0,15 + 0,001 = 0,049 \text{ м},$$

$$\delta_{cp} = \frac{\delta_{\max} + \delta_k}{2} = \frac{0,049 + 0,001}{2} = 0,025 \text{ м},$$

$$\varphi = \arctg \frac{\delta - \delta_k}{R_0} = \arctg \frac{0,3 - 0,001}{0,94} = 0,307 \text{ рад},$$

$$R_1 = R_0 \frac{\delta_k}{\delta - \delta_k} = 0,94 \frac{0,001}{0,3 - 0,001} = 0,003 \text{ см},$$

$$R_2 = R_1 + a_k = 0,003 + 0,15 = 0,153 \text{ см},$$

$$\begin{aligned} A &= 0,26(2a_k + 3b) + \frac{a_{\text{я}}}{2} + \frac{b}{\pi} \ln \frac{a_{\text{я}} + \delta_k / 2}{\delta_k / 2} = \\ &= 0,26(0,15 + 3 \cdot 1,67) + \frac{0,15}{2} + \frac{1,67}{3,14} \ln \frac{0,15 + 0,001/2}{0,001/2} = 4,45. \end{aligned}$$

Расчет удельной проводимости рассеяния:

$$\begin{aligned} g &= \frac{\mu_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot K_H}{\ln \left( \frac{2(R_0 - a_k)}{d_c} + \sqrt{\left[ \frac{2 \cdot (R_0 - a_k)}{d_c} \right]^2 - 1} \right)} = \\ &= \frac{1,2566 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,55}{\ln \left( \frac{2(0,94 - 0,15)}{0,57} + \sqrt{\left[ \frac{2 \cdot (0,94 - 0,15)}{0,57} \right]^2 - 1} \right)} = 6,46 \cdot 10^{-8} \text{ Гн/см}. \end{aligned}$$

$K_H$  – поправочный коэффициент, по графику  $K_H = 0,55$

$$\frac{R_0 - a_k}{d_c} = \frac{0,94 - 0,15}{0,57} = 1,38, \quad \frac{b}{R_0 - a_k} = \frac{1,67}{0,94 - 0,15} = 2,11$$

Магнитное сопротивление технологического зазора:

$$R_{\mu\Delta} = \frac{\Delta \cdot 4}{\mu_0 \cdot \pi \cdot d_c} = \frac{0,0005 \cdot 4}{1,2566 \cdot 10^{-8} \cdot 0,57 \cdot 3,14} = 88925,9 \frac{1}{\text{Г}},$$

где  $\Delta = 0,0005$  см – технологический зазор.

Геометрические размеры участков магнитной цепи:

- Площади поперечных сечений:

$$\text{Якорь } S_{\text{я}} = b a_{\text{я}} = 1,67 \cdot 0,15 = 0,2505 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Сердечник  $S_c = 0,255 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

Ярмо  $S_k = ba_k = 1,67 \cdot 0,15 = 0,2505 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

- Длина участков:

Якорь  $l_{\text{я}} = R_0 = 0,94 \text{ см}$ .

Сердечник  $l_c = 1,15 \text{ см}$ . Ярмо  $l_k = 1,15 \text{ см}$ .

Основание ярма  $l_0 = R_0 = 0,94 \text{ см}$ .

Результирующая проводимость рабочего и нерабочего зазоров:

$$G_{\delta\Sigma} = \frac{G_{\delta} \cdot G_{\delta H}}{G_{\delta} + G_{\delta H}} = \frac{5,35 \cdot 10^{-8} \cdot 27,18 \cdot 10^{-8}}{5,35 \cdot 10^{-8} + 27,17 \cdot 10^{-8}} = 4,47 \cdot 10^{-8} \text{ Гн.}$$

$$\sigma_0 = 1 + \frac{g}{2} \cdot \frac{l_c}{G_{\delta\Sigma}} = 1 + \frac{6,48 \cdot 10^{-8}}{2} \cdot \frac{1,15}{4,47 \cdot 10^{-8}} = 1,83$$

Коэф  
фициент  
рассеяния в  
основании

сердечника и ярма:

Коэффициент рассеяния для средних сечений сердечника и ярма:

$$\sigma_{1/2} = 1 + \frac{3}{8} \cdot \frac{l_c \cdot g}{G_{\delta\Sigma}} = 1 + \frac{3}{8} \cdot \frac{1,15 \cdot 6,48 \cdot 10^{-8}}{4,47 \cdot 10^{-8}} = 1,62$$

Пример расчета одной точки для начального зазора:

Максимальный допустимый поток:

$$\Phi_{\delta\max} = \frac{B_{\max} \cdot S_c}{\sigma_0} = \frac{1 \cdot 0,255 \cdot 10^{-4}}{1,83} = 0,139 \cdot 10^{-4} \text{ Вб,}$$

где  $B_{\max}$  - максимально допустимая индукция в сердечнике.

Задаемся значениями потока в пределах  $(0,5-1)\Phi_{\delta\max}$ .

Далее расчет ведется для  $\Phi_{\delta} = 0,14 \cdot 10^{-4}$  Вб.

Поток в среднем сечении:

$$\Phi_{1/2} = \sigma_{1/2} \cdot \Phi_{\delta} = 1,62 \cdot 0,14 \cdot 10^{-4} = 0,2268 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

Поток в основании ярма и сердечника:

$$\Phi_0 = \sigma_0 \cdot \Phi_{\delta} = 1,83 \cdot 0,14 \cdot 10^{-4} = 0,2562 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

Индукция и напряженность в якоре:

$$B_{\text{я}} = \frac{\Phi_{\delta}}{S_{\text{я}}} = \frac{0,14 \cdot 10^{-4}}{0,2505 \cdot 10^{-4}} = 0,56 \text{ Тл}, \quad H_{\text{я}} = 1,32 \text{ А/см}$$

$$B_c^I = \frac{\Phi_{\delta}}{S_c} = \frac{0,14 \cdot 10^{-4}}{0,255 \cdot 10^{-4}} = 0,55 \text{ Тл}, \quad H_c^I = 1,31 \text{ А/см}$$

$$B_{c1/2} = \frac{\Phi_{1/2}}{S_c} = \frac{0,2268 \cdot 10^{-4}}{0,255 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 0,89 \text{ Тл}, \quad H_{c1/2} = 1,88 \text{ А/см}$$

$$B_c^{II} = \frac{\Phi_0}{S_c} = \frac{0,2562 \cdot 10^{-4}}{0,255 \cdot 10^{-4}} = 1,0 \text{ Тл}, \quad H_c^{II} = 2,25 \text{ А/см}$$

$$B_{\kappa}^I = \frac{\Phi_{\delta}}{S_{\kappa}} = \frac{0,14 \cdot 10^{-4}}{0,2505 \cdot 10^{-4}} = 0,56 \text{ Тл}, \quad H_{\kappa}^I = 1,32 \text{ А/см}$$

$$B_{\kappa 1/2} = \frac{\Phi_{1/2}}{S_{\kappa}} = \frac{0,2268 \cdot 10^{-4}}{0,2505 \cdot 10^{-4}} = 0,905 \text{ Тл}, \quad H_{\kappa 1/2} = 1,91 \text{ А/см}$$

$$B_{\kappa}^{II} = \frac{\Phi_0}{S_{\kappa}} = \frac{0,2562 \cdot 10^{-4}}{0,2505 \cdot 10^{-4}} = 1,02 \text{ Тл}, \quad H_{\kappa}^{II} = 2,34 \text{ А/см}$$

$$B_0 = B_{\kappa}^{II} = 1,02 \text{ Тл}, \quad H_0 = H_{\kappa}^{II} = 2,34 \text{ А/см}$$

Средние магнитные напряженности поля в сердечнике и ярме по формуле Симпсона:

$$H_c = \frac{H_c^I + 4 \cdot H_{c1/2} + H_c^{II}}{6} = \frac{1,31 + 4 \cdot 1,88 + 2,25}{6} = 1,846 A / см,$$

$$H_k = \frac{H_k^I + 4 \cdot H_{k1/2} + H_k^{II}}{6} = \frac{1,32 + 4 \cdot 1,91 + 2,34}{6} = 1,883 A / см.$$

Определяем магнитные напряжения участков:

- в рабочем зазоре:

$$U_{\mu\delta} = \frac{\Phi_\delta}{G_\delta} = \frac{0,14 \cdot 10^{-4}}{5,35 \cdot 10^{-8}} = 261,6 A$$

- в нерабочем зазоре:

$$U_{\mu\delta n} = \frac{\Phi_\delta}{G_{\delta n}} = \frac{0,14 \cdot 10^{-4}}{27,17 \cdot 10^{-8}} = 51,5 A$$

- в якоре:

$$U_{\mu\gamma} = H_\gamma \cdot l_\gamma = 1,32 \cdot 0,94 = 1,24 A$$

- в сердечнике:

$$U_{\mu c} = H_c \cdot l_c = 1,846 \cdot 1,15 = 2,12 A$$

- в ярме:

$$U_{\mu k} = H_k \cdot l_k = 1,883 \cdot 1,15 = 2,1 A$$

- в основании ярма:

$$U_{\mu 0} = H_0 l_0 = 2,34 \cdot 0,94 = 2,19 A$$

- в технологическом зазоре:

$$U_{\mu\Delta} = \Phi_0 \cdot R_{\mu\Delta} = 0,2562 \cdot 10^{-4} \cdot 889259 = 2,27 A$$

Магнитное напряжение на нагрузке (в рабочем и нерабочем зазорах):

$$Iw_H = U_{\mu\delta} + U_{\mu\delta_H} = 261,6 + 51,5 = 313,1A$$

Магнитное напряжение на участках стали и технологическом зазоре:

$$Iw_C = U_{\mu\alpha} + U_{\mu\kappa} + U_{\mu k} + U_{\mu\omega} + U_{\mu\Delta} = 1,24 + 2,12 + 2,1 + 2,19 + 2,27 = 9,92A$$

Суммарная магнитодвижущая сила:

$$Iw = Iw_H + Iw_C = 313,1 + 9,92 = 323A$$

Тяговая

$$F_{\mathcal{E}} = \frac{1}{2} \cdot (U_{\mu\delta})^2 \cdot \frac{dG_{\delta}}{d\delta} = \frac{1}{2} \cdot (261,6)^2 \cdot 0,36 \cdot 10^{-5} = 0,123H$$

сила,  
развиваемая

электромагнитом:

Расчет для остальных точек проводится аналогично. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты расчета цепи

| $\delta$        | см                      | 0,3    |        |        |        |       |
|-----------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| $\Phi_{\delta}$ | $B\delta \cdot 10^{-4}$ | 0,09   | 0,14   | 0,19   | 0,25   | 0,3   |
| $\Phi_{1/2}$    |                         | 0,1458 | 0,2268 | 0,3078 | 0,405  | 0,486 |
| $\Phi_0$        |                         | 0,1647 | 0,2562 | 0,3477 | 0,4575 | 0,549 |
| $B_{\alpha}$    | $T_L$                   | 0,36   | 0,56   | 0,76   | 0,99   | 1,19  |
| $B'_c$          |                         | 0,35   | 0,55   | 0,745  | 0,98   | 1,17  |
| $B_{c1/2}$      |                         | 0,57   | 0,89   | 1,2    | 1,58   | 1,9   |
| $B''_c$         |                         | 0,64   | 1,0    | 1,36   | 1,79   | 2,1   |
| $B'_k$          |                         | 0,36   | 0,56   | 0,76   | 0,99   | 1,19  |
| $B_{k1/2}$      |                         | 0,58   | 0,905  | 1,23   | 1,61   | 1,9   |
| $B''_k$         |                         | 0,66   | 1,02   | 1,39   | 0,99   | 2,1   |
| $H_{\alpha}$    | $A/см$                  | 1,0    | 1,32   | 1,62   | 2,18   | 3,25  |
| $H'_c$          |                         | 1,0    | 1,31   | 1,59   | 2,16   | 3,16  |
| $H_{c1/2}$      |                         | 1,35   | 1,88   | 3,57   | 17,0   | 112   |
| $H''_c$         |                         | 1,46   | 2,25   | 5,4    | 62,0   | 275   |

|                          |   |       |       |       |       |        |
|--------------------------|---|-------|-------|-------|-------|--------|
| $H'_\kappa$              |   | 1,0   | 1,32  | 1,62  | 2,18  | 3,25   |
| $H_{\kappa 1/2}$         |   | 1,38  | 1,91  | 3,65  | 19,2  | 112    |
| $H''_\kappa$             |   | 1,48  | 2,34  | 1,62  | 2,18  | 275    |
| $H_{\kappa, \text{ср.}}$ |   | 0,545 | 1,846 | 3,545 | 22,02 | 121,0  |
| $H_{\kappa, \text{ср.}}$ |   | 1,33  | 1,883 | 2,96  | 13,52 | 121,1  |
| $U_{\mu\delta}$          | A | 168,2 | 261,6 | 355,1 | 467,2 | 560,7  |
| $U_{\mu\delta n}$        |   | 33,1  | 51,5  | 69,9  | 92,0  | 110,4  |
| $U_{\mu c}$              |   | 0,63  | 2,12  | 4,07  | 25,3  | 139,1  |
| $U_{\mu\kappa}$          |   | 1,53  | 2,1   | 3,4   | 15,5  | 139,2  |
| $U_{\mu 0}$              |   | 1,39  | 2,19  | 1,52  | 2,05  | 258,5  |
| $U_{\mu\beta}$           |   | 0,94  | 1,24  | 1,52  | 2,05  | 3,05   |
| $U_{\mu\Delta}$          |   | 1,46  | 2,27  | 3,09  | 4,06  | 4,8    |
| $IW_n$                   |   | 201,3 | 313,1 | 425   | 559,2 | 671,1  |
| $IW_c$                   |   | 5,95  | 9,9   | 13,6  | 49,0  | 544,6  |
| $IW$                     |   | 207,3 | 323   | 438,6 | 608,2 | 1215,7 |
| $F_\gamma$               | H | 0,051 | 0,123 | 0,227 | 0,393 | 0,565  |

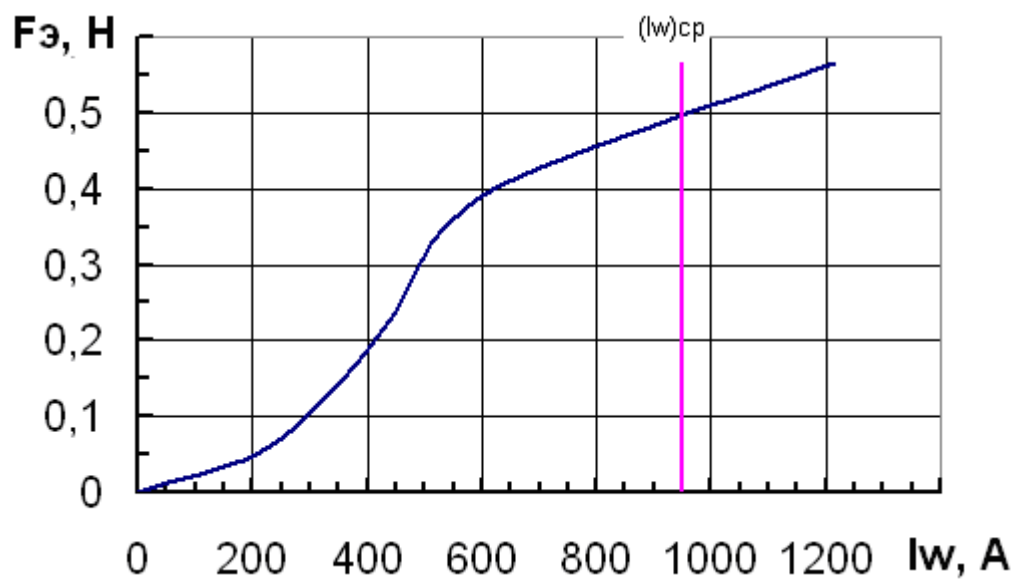


Рисунок 7. Силовая характеристика



#### **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НТИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) произвести технико-экономическое обоснование проекта;
- 2) осуществить планирование этапов выполнения проекта;
- 3) рассчитать бюджет проводимого научно-технического проекта;
- 4) произвести оценку и экономической эффективности проекта.

К научно-исследовательским работам относятся работы поискового, теоретического и экспериментального характера, которые выполняются с целью расширения, углубления и систематизации знаний по определенной научной проблеме и создания научного задела.

Во взрывоопасных зонах химических производств для пуска, реверса и остановки АД с короткозамкнутым ротором применяют взрывозащищенные автоматические выключатели. Мы же будем говорить о шахтных взрывозащищенных автоматических выключателей. Все они имеют вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка».

Особенностью эксплуатации взрывозащищенных аппаратов является присутствие в воздушной среде метана и угольной пыли. При этом вероятны их опасные концентрации. В этих условиях появление источника зажигания

может привести, к возникновению взрывов (вспышек) метана. По статистический данным около 35% взрывов метана и угольной пыли на шахтах России происходит из-за нарушения защитных свойств электрооборудования.

В настоящее время на шахтах эксплуатируются взрывозащищенные выключателя старого образца ПМВИ-61 и реверсивные выключатели ПМВИР-41иПМВИ-51 и выключатели нового типа ПВИ.

На предприятиях где осуществляется реконструкция или модернизация действующего электрооборудования. Стоимость электрооборудования и его монтаж составляет большой удельный вес в общей стоимости развития предприятия.

Сегментировать рынок услуг по разработке и внедрению в производство взрывозащищенных выключателей можно по следующим критериям: техническое обслуживание, длительность эксплуатации оборудования (рисунок 1).

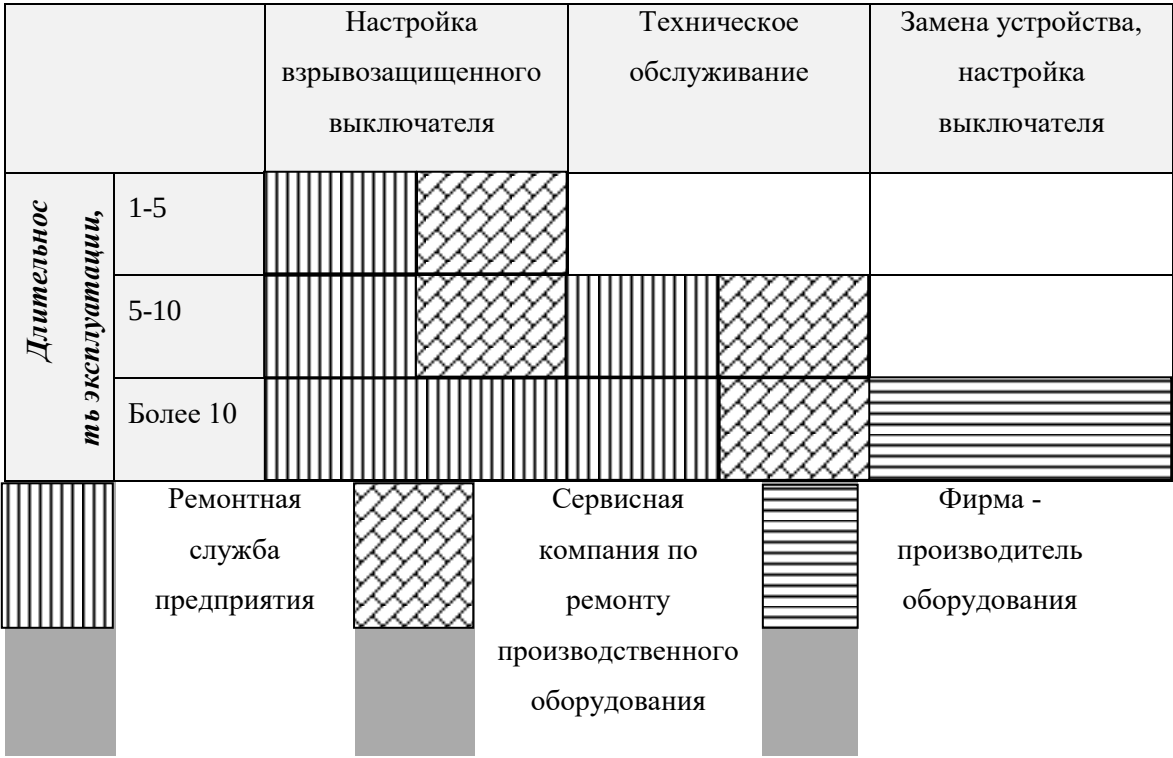


Рисунок 1. Карта сегментирования рынка услуг по разработке и внедрению в производстве взрывозащищенного выключателя

Потенциальными потребителями результатов НТП могут являться:

- легкая и тяжелая промышленность;
- угольной промышленности.

Анализ конкурентных проектных решений целесообразно проводить с помощью оценочной карты, пример которой приведен на рис.1. Для этого необходимо отобрать около трех-четырех конкурентных товаров и разработок.

Таблица 1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки                                                                  | Вес<br>крите<br>рия | Баллы          |                 |                 | Конкурентоспо<br>собность |                 |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
|                                                                                  |                     | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>            | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности                                 |                     |                |                 |                 |                           |                 |                 |
| 1.Повышение<br>производительности        труда<br>пользователя                   | 0,15                | 3              | 5               | 4               | 0,45                      | 0,75            | 0,6             |
| 2. Удобство в эксплуатации<br>(соответствует        требованиям<br>потребителей) | 0,07                | 3              | 5               | 3               | 0,21                      | 0,35            | 0,21            |
| 3. Энергоэкономичность                                                           | 0,1                 | 3              | 4               | 3               | 0,3                       | 0,4             | 0,3             |
| 4. Надежность                                                                    | 0,18                | 3              | 5               | 5               | 0,54                      | 0,9             | 0,9             |

|                                                    |          |   |   |   |             |             |             |
|----------------------------------------------------|----------|---|---|---|-------------|-------------|-------------|
| 5. Износостойкость                                 | 0,09     | 3 | 5 | 4 | 0,27        | 0,45        | 0,36        |
| 6. Безопасность                                    | 0,07     | 3 | 4 | 5 | 0,21        | 0,28        | 0,35        |
| 7. Габариты                                        | 0,03     | 2 | 5 | 4 | 0,06        | 0,15        | 0,12        |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b> |          |   |   |   |             |             |             |
| 1. Конкурентоспособность<br>продукта               | 0,03     | 2 | 5 | 2 | 0,06        | 0,15        | 0,06        |
| 2. Цена                                            | 0,12     | 4 | 3 | 4 | 0,48        | 0,36        | 0,48        |
| 3. Предполагаемый срок<br>эксплуатации             | 0,11     | 2 | 5 | 4 | 0,22        | 0,55        | 0,44        |
| 4. Послепродажное<br>обслуживание                  | 0,05     | 3 | 4 | 3 | 0,15        | 0,2         | 0,15        |
| <b>Итого</b>                                       | <b>1</b> |   |   |   | <b>2,95</b> | <b>4,54</b> | <b>3,97</b> |

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

#### 4.1. SWOT-анализ проектируемого взрывозащищенного выключателя

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Применительно к разрабатываемому проекту, SWOT-анализ позволит оценить его сильные и слабые стороны, а также его возможности и угрозы [25,26].

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1

Таблица 4.1– Матрица SWOT

|                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1.Высокаяэнергоэффективность технологий.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Повышение безопасности производства</p> <p>С5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p> | <p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Трудность монтажа системы</p> <p>Сл2. Дороговизна оборудования</p> <p>Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующий.</p> |
| <p>Возможности:</p> <p>В1. Увеличение производительности энергоблоков</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Снижение затрат на таможенные пошлины за счет малого количества иностранных компонентов</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных систем</p> | <p>В1С1С4С5;</p> <p>В2С1С3;</p> <p>В3С2С5;</p> <p>В4С1С2С4С5;</p>                                                                                                                                                                                               | <p>В1Сл1Сл3</p> <p>В2Сл1Сл2;</p> <p>В3Сл2Сл3;</p> <p>В4Сл2;</p>                                                                                                         |
| <p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологии</p>                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                         |

|                                                                                                                                                                     |           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| производства                                                                                                                                                        | У1С3;     | У1Сл1Сл2; |
| У2. Ограничения на экспорт технологий                                                                                                                               | У2С1С2;   | У2Сл2;    |
| У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции                                                                    | У3С5С4;   | У3Сл1Сл3; |
| У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства                                                                                                       | У4С1С2С5. | У4Сл2.    |
| Примечание. При составлении матрицы SWOT использованы следующие обозначения: С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта; В – возможности; У – угрозы; |           |           |

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица возможностей

| Возможности | Сильные стороны проекта |     |     |     |    |    |
|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|----|----|
|             |                         | С1  | С2  | С3  | С4 | С5 |
|             | В1                      | +   | -   | -   | +  | +  |
|             | В2                      | +   | -   | +   | -  | -  |
|             | В3                      | -   | +   | -   | -  | +  |
|             | В4                      | +   | +   | -   | +  | +  |
|             | Слабые стороны проекта  |     |     |     |    |    |
|             |                         | Сл1 | Сл2 | Сл3 |    |    |
|             | В1                      | +   | -   | +   |    |    |
|             | В2                      | +   | +   | -   |    |    |
|             | В3                      | -   | +   | +   |    |    |

|                                                                                                                                            |                         |     |     |     |    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|----|----|
|                                                                                                                                            | B4                      | -   | +   | -   |    |    |
| Угрозы                                                                                                                                     | Сильные стороны проекта |     |     |     |    |    |
|                                                                                                                                            |                         | C1  | C2  | C3  | C4 | C5 |
|                                                                                                                                            | У1                      | -   | -   | +   | -  | -  |
|                                                                                                                                            | У2                      | +   | +   | -   | -  | -  |
|                                                                                                                                            | У3                      | -   | -   | -   | +  | +  |
|                                                                                                                                            | У4                      | +   | +   | -   | -  | +  |
|                                                                                                                                            | Слабые стороны проекта  |     |     |     |    |    |
|                                                                                                                                            |                         | Сл1 | Сл2 | Сл3 |    |    |
|                                                                                                                                            | У1                      | +   | +   | -   |    |    |
|                                                                                                                                            | У2                      | -   | +   | -   |    |    |
|                                                                                                                                            | У3                      | +   | -   | +   |    |    |
|                                                                                                                                            | У4                      | -   | +   | -   |    |    |
| Примечание. При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения: «+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие. |                         |     |     |     |    |    |

Анализ содержания таблицы показывает, что проект имеет большие возможности и несущественные угрозы, а также, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. Таким образом, проект характеризуется высокой эффективностью и надежностью реализации, имеет коммерческий потенциал.

#### 4.2. Организация работ по техническому проекту

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;

- построение графика проведения технических проектирований.

#### 4.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят:

- Руководитель (Ру) – преподаватель, который определяет тему проекта и руководит работой выпускника;
- Выпускник (В) – студент, который выполняет и сдает свою работу по согласованию с руководителем;
- Технолог – лицо, занимающееся разработкой, организацией того или иного технологического процесса.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ:

- Разработка технического задания – изучение информации об объекте, составление задания и требований к техническому проекту. Представление нужных литератур.
- Анализ и расчет задачи проекта – изучение различных источников, выбор конструкции и материалов объектов, приведение расчетов параметров и характеристик.
- Разработка технической документации и проектирование – составление функциональной и структурной схем исследуемого предмета, составление пояснительной записки.
- Подготовка к защите – подготовка презентации и доклада, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Для выполнения проекта составляется перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и производится распределение исполнителей по видам работ (таблица 4.3).



Таблица 4.3 – Этапы технического проектирования

| Основные этапы                                       | № работ | Содержание работ                                                      | Исполнитель |
|------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------|-------------|
| Разработка технического задания                      | 1       | Составление и утверждение технического задания                        | Ру          |
| Анализ и расчет задачи проекта                       | 2       | Выбор прототипа                                                       | Ру, В       |
|                                                      | 3       | Расчет токоведущего контура и его частей                              | Ру, В       |
|                                                      | 4       | Расчет комммутирующих контактов                                       | Ру, В       |
|                                                      | 5       | Расчет дугогасительной системы                                        | Ру, В       |
|                                                      | 6       | Расчет механической и тяговой характеристики                          | Ру, В       |
|                                                      | 7       | Расчет основных размеров сердечника и катушки электромагнита          | Ру, В       |
|                                                      | 8       | Расчет магнитной цепи                                                 | Ру, В       |
| Разработка технической документации и проектирование | 9       | Разработка чертежей сборочного выключателя и его частей               | Ру, Т, В    |
|                                                      | 10      | Составление пояснительной записки                                     | Ру, Т, В    |
|                                                      | 11      | Выбор и расчет конструкции                                            | Т, В        |
|                                                      | 12      | Разработка схемы сборки                                               | Т, В        |
|                                                      | 13      | Оформление маршрутной документации                                    | Т, В        |
|                                                      | 14      | Выбор сборочных оборудования и оснастки                               | Т, В        |
|                                                      | 15      | Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия | Т, В        |
|                                                      | 16      | Подготовка к защите                                                   | Ру, В       |
|                                                      |         |                                                                       |             |

#### 4.2.2. Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости рассчитывается по формуле[25]:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot t_{\text{mini}} + 2 \cdot t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4-1)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы дней;

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

$t_{\max i}$ — максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), день;

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения с учетом количества исполнителей по каждой работе по формуле [25]:

$$t_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4-2)$$

где  $t_{pi}$ — продолжительность одной работы, дней;

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

Определение и расчет этапов и работы технического проектирования приведено в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет ожидаемой трудоемкости выполнения работ по проекту

| Основные этапы                                       | №  | Содержание работ                                             | Исполнитель | $t_{\min}$ , день | $t_{\max}$ , день | $t_{ожi}$ , день |
|------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Разработка технического задания                      | 1  | Составление и утверждение технического задания               | Ру          | 4                 | 7                 | 5                |
| Анализ и расчет задачи проекта                       | 2  | Выбор прототипа                                              | Ру, В       | 6                 | 10                | 8                |
|                                                      | 3  | Расчет токоведущего контура и его частей                     | Ру, В       | 8                 | 11                | 9                |
|                                                      | 4  | Расчет коммутирующих контактов                               | Ру, В       | 5                 | 8                 | 6                |
|                                                      | 5  | Расчет дугогасительной системы                               | Ру, В       | 4                 | 8                 | 6                |
|                                                      | 6  | Расчет механической и тяговой характеристики                 | Ру, В       | 4                 | 9                 | 6                |
|                                                      | 7  | Расчет основных размеров сердечника и катушки электромагнита | Ру, В       | 3                 | 6                 | 4                |
|                                                      | 8  | Расчет магнитной цепи                                        | Ру, В       | 5                 | 7                 | 6                |
| Разработка технической документации и проектирование | 9  | Разработка чертежей сборочного выключателя и его частей      | Ру, Т, В    | 12                | 15                | 13               |
|                                                      | 10 | Составление пояснительной записки                            | Ру, Т, В    | 4                 | 7                 | 5                |
|                                                      | 11 | Выбор и расчет конструкции                                   | Т, В        | 5                 | 9                 | 7                |
|                                                      | 12 | Разработка схемы сборки                                      | Т, В        | 9                 | 12                | 10               |
|                                                      | 13 | Оформление маршрутной документации                           | Т, В        | 11                | 13                | 12               |
|                                                      | 14 | Выбор сборочных оборудования и оснастки                      | Т, В        | 3                 | 6                 | 4                |
|                                                      | 15 | Оценка эффективности производства и                          | Т, В        | 15                | 18                | 16               |

|                                                                                                          |    |                                   |       |   |    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------------------------------|-------|---|----|----|
|                                                                                                          |    | применения проектируемого изделия |       |   |    |    |
|                                                                                                          | 16 | Сдача проекта                     | Ру, В | 8 | 12 | 10 |
| Примечание: минимальное $t_{\min}$ и максимальное время $t_{\max}$ получены на основе экспертных оценок. |    |                                   |       |   |    |    |

По данным таблицы 4.4 можно определить время, которое необходимо для выполнения работ каждым исполнителем:

- Ру(руководитель) выполняет свою работу за 26 дней.
- В(выпускник) конструирует 86 дней.
- Т(технолог)работает 20 дней.

### 4.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ[27].

В приложении 5 показываются продолжительность работы (начало и конец), а также характеристики выполнения работ (прерывный или непрерывный характер) и исполнители соответствующей работы. Рабочие дни показаны по месяцам, в каждом месяце предусматривается 22 рабочих дня.

Выполнение всего комплекса работ осуществляется в течение 4месяцевили 86 рабочих дней.

Календарная продолжительность выполнения технического проекта составит 121 дней. Из них:

- 37 дней – рабочая занятость руководителя;
- 121 день – рабочая занятость выпускника;

- 28 дней – рабочая занятость техника.

Трудоемкость выполнения работ, связанная с технической подготовкой производства, делает актуальными проблемы автоматизации программирования обработки. Появляется возможность выбора оптимального технологического процесса из множества вариантов.

### **4.3 Составление сметы затрат на проектирование**

Смета затрат рассчитывается для определения расходов, необходимых для осуществления всех работ по проектированию взрывозащищенного выключателя.

В процессе формирования сметы используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### **4.3 Расчет материальных затрат**

Материальные расходы – это расходы на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

К материальным расходам приравниваются:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания продукции;;
- покупные материалы, используемые в процессе создания продукции для обеспечения нормального технологического процесса, для упаковки продукции и ремонта и эксплуатации оборудования;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (4-3)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Определение материальных затрат приведено в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Материальные затраты

| №  | Наименование               | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Стоимость материалов, руб. |
|----|----------------------------|-------------------|------------|-------------------|----------------------------|
| 1  | Катушка                    | Шт.               | 1          | 450,0             | 450,0                      |
| 2  | Пружина                    | Шт.               | 6          | 50,0              | 300,0                      |
| 3  | Сердечник                  | Лист              | 15         | 10,0              | 150,0                      |
| 4  | Корпус                     | Шт.               | 1          | 500,0             | 500,0                      |
| 5  | Контакт                    | Шт.               | 6          | 50,0              | 300,0                      |
| 6  | Дугогасительное устройство | Шт.               | 3          | 85,0              | 255,0                      |
| 7  | Болт с гайкой              | Шт.               | 7          | 4,0               | 280,0                      |
| 8  | Винт                       | Шт.               | 14         | 0,5               | 7,0                        |
| 9  | Тяга                       | Шт.               | 2          | 45,0              | 90,0                       |
| 10 | Шина                       | Шт.               | 6          | 20,0              | 120,0                      |
|    | Итого                      |                   |            |                   | 2200,0                     |

Стоимость материалов учитывает также расходы, связанные с их приобретением. Поэтому материальные расходы с учётом транспортно-заготовительных расходов составят:

$$C_m = Z_m \cdot k_T = 2200 \cdot 1,18 = 2600 \text{ руб.} \quad (4-4)$$

$k_T$  — коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.  $k_T$  принимается в размере 18% от стоимости материалов.

По таблице 10.5 видно, что затраты на приобретение катушки и корпуса занимают самую долю от общей суммы материальных затрат.

#### 4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование

В данную статью включаются все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов).

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 16% от его цены.

Определение платы на специальное оборудование по каждому варианту исполнения приведено в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – затрат на специальное оборудование

| № | Наименование оборудования                             | Количество единиц оборудования | Цена единицы оборудования, тыс. руб. | Стоимость оборудования, $Z_{с.об}$ , тыс. руб. |
|---|-------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1 | Стенд для проверки электрических аппаратов ОКО АЦ-ИЭА | 1                              | 75,0                                 | 75,0                                           |
| 2 | Дрель аккумуляторная BOSCH GSR Professional           | 1                              | 6,0                                  | 6,0                                            |
| 3 | Штангенциркуль MATRIX                                 | 1                              | 1,5                                  | 1,5                                            |
| 4 | Мультиметр цифровой                                   | 1                              | 1,5                                  | 1,5                                            |
| 5 | Калибр-скоба                                          | 1                              | 2,0                                  | 2,0                                            |
|   | Итого                                                 |                                |                                      | 86,0                                           |

Первоначальная стоимость оборудования предусматривает затраты предприятия по его доставке и монтажу и рассчитывается следующим образом:

$$З_{об} = З_{с.об} \cdot 1,16 = 86,0 \cdot 1,16 = 100 \text{ тыс.руб.} \quad (4-5)$$

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортные расходы и расходы по монтажу оборудования.  $k_T$  принимается в размере 16% от стоимости материалов.

Основные затраты на специальное оборудование приходятся на приобретение стенда для проверки электрических аппаратов.

#### 4.3.3 Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (4-6)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;  $З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-15 % от  $З_{осн}$ ).

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (4-7)$$

где  $З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{тс}} + З_{\text{допл}} + З_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}}, \quad (4-8)$$

где  $З_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $З_{\text{допл}}$  – доплаты и надбавки, руб.;  $З_{\text{р.к.}}$  – доплаты, обусловленные районным регулированием заработной платы, руб.;  $F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце (22 при 5-дневной рабочей неделе), раб.дн.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет основной заработной платы

| № | Исполнители  | $З_{\text{тс}}$ ,<br>руб. | $З_{\text{допл}}$ ,<br>руб. | $З_{\text{р.к.}}$ ,<br>руб. | $З_{\text{м}}$ , руб. | $З_{\text{дн}}$ , руб. | $T_{\text{р. раб.}}$<br>дн. | $З_{\text{осн}}$ , руб. |
|---|--------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1 | Руководитель | 23000                     | 3450                        | 7935                        | 34385                 | 1563                   | 26                          | 40638                   |
| 2 | Выпускник    | 8000                      | 1200                        | 2760                        | 11960                 | 544                    | 86                          | 46784                   |
| 3 | Технолог     | 15000                     | 2250                        | 5175                        | 22425                 | 1010                   | 20                          | 20200                   |
|   | Итого        |                           |                             |                             |                       |                        |                             | 107622                  |

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (4-9)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 ÷ 0,15 [25]).

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет полной заработной платы

| № | Исполнители  | $k_{\text{доп}}$ | $З_{\text{осн}}$ , руб. | $З_{\text{доп}}$ , руб. | $З_{\text{зп.}}$ , руб. |
|---|--------------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | Руководитель | 0,15             | 40638                   | 6062                    | 46700                   |
| 2 | Выпускник    | 0,12             | 46784                   | 5616                    | 52400                   |
| 3 | Технолог     | 0,12             | 20200                   | 2400                    | 22600                   |
|   | Итого        |                  | 107622                  | 14078                   | 121700                  |

#### 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:



$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot З_{зп}, \quad (4-10)$$

где  $k_{внеб} = 0,3$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З = 121700 \cdot 0,302 = 36700 \text{ руб.} \quad (4-10)$$

#### 4.3.5 Накладные расходы

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

$$З_{накл} = (\text{затраты на тех. проект}) \cdot k_{нр}, \quad (4-11)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы [25].

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от общей стоимости проекта.

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [26].

Все рассчитанные выше статьи затрат на проект приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет сметы затрат

| № | Наименование статьи                 | Сумма, тыс.руб. | Структура затрат, % |
|---|-------------------------------------|-----------------|---------------------|
| 1 | Материальные затраты                | 2.6             | 0,8                 |
| 2 | Затраты на специальное оборудование | 100.0           | 32,2                |
| 3 | Затраты по оплате труда             | 121.7           | 39,2                |
| 4 | Отчисления во внебюджетные фонды    | 36.7            | 11,8                |
| 5 | Накладные расходы                   | 49,0            | 16,0                |
|   | Итого                               | 310,0           | 100,0               |

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят 310 тысяч рублей, из которых более половины (51%) составят затраты, связанные с оплатой труда исполнителей проекта и 32% – затраты на приобретение оборудования. При необходимости снизить общие затраты на реализацию проекта, рекомендуется использовать в качестве выборки другого оборудования.

#### **4.4 Определение ресурсоэффективности проекта**

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности[28]:

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

(4-12)

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;  $a_i$  – весовой коэффициент разработки;  $b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Определение уровня ресурсоэффективности проектируемого взрывозащищенного выключателя осуществляется по следующим показателям:

Технологичность – совокупность свойств конструкции с заданными эксплуатационными характеристиками, обеспечивающих наименьшие затраты при её производстве, техническом обслуживании и ремонте.

Прочность – свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих под воздействием внешних сил.

Устойчивость – способность системы сохранять текущее состояние при наличии внешних воздействий.

Работоспособность – это состояние, при котором он способен выполнять заданную функцию с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и т.д.

Материалоемкость – показатель расхода материалов на производство продукции. Которые необходимы для производства единицы продукции, либо определяется в процентном соотношении к стоимости затраченных материальных ресурсов в структуре себестоимости производимой продукции.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Сравнительная оценка характеристик проекта

| № | Критерии          | Весовой коэффициент | Бальная оценка разработки | Интегральный показатель |
|---|-------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | Технологичность   | 0,20                | 5                         | 1,00                    |
| 2 | Прочность         | 0,15                | 5                         | 0,75                    |
| 3 | Устойчивость      | 0,15                | 4                         | 0,60                    |
| 4 | Работоспособность | 0,10                | 5                         | 0,50                    |
| 5 | Надежность        | 0,15                | 4                         | 0,60                    |
| 6 | Материалоемкость  | 0,25                | 5                         | 1,25                    |
|   | Итого             | 1,00                |                           | 4,70                    |

В этом этапе рассмотрены критерии характеристик проекта. К основным характеристикам отнесены материалоемкость и технологичность

взрывозащищенного выключателя. Средний интегральный показатель равен 4,7 (по 5-балльной шкале). Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, т.е. эффективность использования технического проекта высокая.

В результате выполнения поставленных в данном разделе задач, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности и экономичности технического производства.
- при планировании технико-конструкторских работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей.
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта, а также дать рекомендации по оптимизации этих затрат.
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,7 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

С учетом вышеотмеченного, можно заключить, что реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства, как социальную, путем улучшения безопасности, так и ресурсосберегающую, путем внедрения более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

## **Заключение**

В данной выпускной квалификационной работе был спроектирован взрывозащищенный автоматический по прототипу автоматического выключателя серии АЕ 2056М. Из расчетов видно, что автоматический выключатель удовлетворяет всем эксплуатационным требованиям

Основной расчет автоматического выключателя производился с помощью ЭВМ, что позволило добиться наиболее точных результатов расчёта.

Токоведущий контур выбран из условия допустимого нагрева шин и не размыкающих контактных соединений при длительно протекающем номинальном токе, что обеспечивает длительный срок службы аппарата без замены ТВК.

Расчет контактов показывает, что температура размыкания контактных соединений не достигает температуры рекристаллизации, что обеспечивает надёжную работу выключателя. Материал контактов - металлокерамика СОК10м, что приводит к приемлемой износостойкости контактов и низкому переходному сопротивлению контактов.

В разделе финансового менеджмента было определено, что реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства, как социальную, путем улучшения безопасности, так и ресурсосберегающую, путем внедрения более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

В разделе социальная ответственность было рассмотрено рабочее место персонала, обслуживающего взрывозащищенный пускатель. Проведен анализ вредных и опасных факторов производственной среды, а также разработаны меры защиты от них. Рассмотрены вопросы производственной санитарии, техники безопасности, пожарной профилактики, охраны окружающей среды, защиты в ЧС при работе электротехнического персонала, обслуживающего проектируемый взрывозащищенный пускатель.

Спроектированный выключатель обладает высокими техническими характеристиками: высокая точность, долговечность; высокая технический уровень; экономичность; хороший конструктивный признак.

### **Список использованных источников**

1. Сахаров П. В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования). Учебное пособие для студентов электрических вузов. - М.: Энергия, 1971.
2. Таев И. С. Электрические аппараты управления: Учебник для вузов по спец. Электрические аппараты. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984
3. Копылов Ю.В. «Расчёт магнитной цепи постоянного тока». Учебное пособие. Томск. Изд. ТПИ, 1985
4. Буль Б. К. Основы теории и расчёта магнитных цепей. М.-Л., издательство Энергия, 1964
5. Чунихин А. А. Электрические аппараты (общий курс). Учебник для энергетических и электротехнических институтов и факультетов. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975.
6. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
8. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». –М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
9. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
10. Федеральный закон от 22.07.2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
11. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.