

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

---

Энергетический институт  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика электротехника  
Кафедра электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы                                                   |
|---------------------------------------------------------------|
| <b>Исследование четырехстороннего станка типа Weinig U17A</b> |

УДК 62-83-523:674.06

Студент

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 5Г2Б   | Сидорков Михаил Юрьевич |         |      |

Руководитель

| Должность         | ФИО        | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------|------------|---------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель | Паюк Л. А. | К. Т. Н.                  |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО             | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Трофимова М. Н. |                           |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Дашковский А. Г. | К. Т. Н.                  |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой | ФИО             | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
|               | Дементьев Ю. Н. | К. Т. Н., Ph. D.          |         |      |

Томск – 2016 г.

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

Энергетический институт  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра ЭПЭО

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись)

(Дата)

Дементьев Ю.Н.  
(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

|                     |
|---------------------|
| Бакалаврской работы |
|---------------------|

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

Студенту:

| Группа | ФИО                        |
|--------|----------------------------|
| 5Г2Б   | Сидоркову Михаилу Юрьевичу |

Тема работы:

|                                                               |                       |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Исследование четырехстороннего станка типа Weinig U17A</b> |                       |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                   | № 966/с от 10.02.2016 |

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 1.06.2016 |
|------------------------------------------|-----------|

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Напряжение питающей сети <math>U_{\text{пит}}=380 \text{ В}</math>;</p> <p>Мощность исполнительного механизма <math>P_{\text{им}}=16,8 \text{ кВт}</math>;</p> <p>Диапазон регулирования 1:4.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br><br><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> | Расчет и выбор силовой части<br><br>Построение механических и электромеханических характеристик<br><br>Моделирование переходных процессов |
| <b>Перечень графического материала</b><br><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Презентация                                                                                                                               |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><br><i>(с указанием разделов)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                           |
| <b>Раздел</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Консультант</b>                                                                                                                        |
| Социальная ответственность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Дашковский А.Г.                                                                  |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Доцент кафедры менеджмента Трофимова М.Н.                                                                                                 |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                           |

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

**Задание выдал руководитель:**

| Должность         | ФИО        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|------------|------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель | Паюк Л. А. | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 5Г2Б   | Сидорков Михаил Юрьевич |         |      |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

|                     |             |                            |                                                                              |
|---------------------|-------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Студенту группы     |             | ФИО                        |                                                                              |
| 5Г2Б                |             | Сидоркову Михаилу Юрьевичу |                                                                              |
| Институт            | ЭНИН        | Кафедра                    | ЭПЭО                                                                         |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность  | Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений |

|                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>                 | <p>1. Описание рабочего места на предмет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Описание места проведения работ по разделу;</li> <li>– проявлений факторов техносферной безопасности;</li> <li>– Объекта воздействия на окружающую среду (экологическая безопасность);</li> <li>– Места возникновения ЧС (в основном опасность пожара);</li> <li>– п.5. организация работы отдела охраны труда (либо комплексного отдела – ОТ ПБ и ООС), его место расположение</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> | <p>1. Анализ <b>вредных</b> факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выдержки из действующих нормативов на нормы с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно технический документ);</li> <li>-- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> <li>- описание технических систем, обеспечивающих требования нормативов</li> </ul> <p>2. Анализ <b>опасных</b> факторов проектируемой производственной среды 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> </ul> <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны;</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul> <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>- либо, выбор наиболее типичной ЧС (пожаровзрыво- безопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения);</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия управления охраной труда, ООС, ЧС;</li> </ul> <p>Перечень законодательных и нормативных документов в порядке их цитирования по пунктам раздела</p> |
| <b>Перечень расч-го и граф-го материала</b>                                    | Расчет искусственного освещения для помещения (устройства защитного заземления, план эвакуации, ликвидация загрязнений ОС и т.п.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

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

Задание выдал консультант:

|                    |                  |                        |         |      |
|--------------------|------------------|------------------------|---------|------|
| Должность:         | ФИО              | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент кафедры ЭБЖ | Дашковский А. Г. | Доцент                 |         |      |

Задание принял к исполнению студент

|        |                |         |      |
|--------|----------------|---------|------|
| Группы | ФИО            | Подпись | Дата |
| 5Г2Б   | Сидорков М. Ю. |         |      |

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

|                            |             |                                  |                                                                              |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Студенту группы</b>     |             | <b>ФИО</b>                       |                                                                              |
| 5Г2Б                       |             | Сидорков М.Ю.                    |                                                                              |
| <b>Институт</b>            | <b>ЭНИН</b> | <b>Кафедра</b>                   | <b>ЭПЭО</b>                                                                  |
| <b>Уровень образования</b> | Бакалавриат | <b>Направление/специальность</b> | Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений |

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

|                                                                                                                                             |                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску<br>Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>                                                                                           | 30 % премии<br>20 % надбавки<br>16% накладные расходы<br>1,3 - районный коэффициент                                                   |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  | 27,1 отчисления на социальные нужды                                                                                                   |

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

|                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | Анализ конкурентных технических решений. Оценки перспективности проекта по технологии QuaD.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>                                                                        | Формирование плана и графика разработки :<br>-определение структуры работ;<br>- определение трудоемкости работ;<br>- разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование:<br>- материальные затраты;<br>-заработная плата (основная и дополнительная);<br>- отчисления на социальные цели;<br>- накладные расходы. |

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

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Оценочная карта QuaD*
3. *График Ганта*
4. *График проведения и бюджет НИ*
5. *Определение ресурсоэффективности проекта*

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

**Задание выдал консультант:**

|                  |                |                               |                |             |
|------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>     | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент           | Трофимова М.Н. |                               |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                         |                |             |
|---------------|-------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>              | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 5Г2Б          | Сидорков Михаил Юрьевич |                |             |

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Энергетический институт  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Уровень образования Бакалавриат  
Кафедра ЭПЭО  
Период выполнения весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

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

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

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 01.06.2016 |
|------------------------------------------|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)                                             | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 09.02.2016    | <i>Расчет силовой части и выбор оборудования</i>                                                  |                                    |
| 24.02.2016    | <i>Расчет параметров схемы замещения</i>                                                          |                                    |
| 07.03.2016    | <i>Построение естественных характеристик</i>                                                      |                                    |
| 23.03.2016    | <i>Построение искусственных характеристик</i>                                                     |                                    |
| 15.04.2016    | <i>Моделирование переходных процессов</i>                                                         |                                    |
| 25.05.2016    | <i>Социальная ответственность</i>                                                                 |                                    |
| 27.05.2016    | <i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>                            |                                    |
| 28.05.2016    | <i>Оформление результатов работы и выводов по работе.<br/>Формирование файла дипломной работы</i> |                                    |

Составил преподаватель:

| Должность         | ФИО       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|-----------|------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель | Паюк Л.А. | к.т.н.                 |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

| Зав. кафедрой | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|----------------|------------------------|---------|------|
|               | Дементьев Ю.Н. | Ph.D., к.т.н.          |         |      |

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

### 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

| Код<br>результата                   | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Универсальные компетенции</b>    |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| P1                                  | Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники                                                                                                                                |
| P2                                  | 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                                  |
| P3                                  | Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.                                                                                                                     |
| P4                                  | Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.                                                                                                                                     |
| P5                                  | Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.                                                                         |
| P6                                  | Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.                                                                                                                                     |
| <b>Профессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| P7                                  | Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.                                         |
| P8                                  | Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.                                                                                                                  |
| P9                                  | Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.                                                                                                                                                                                   |
| P10                                 | 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.              |
| P11                                 | Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.                                                                                                                           |
| P12                                 | 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. |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 82 с, 15 иллюстраций, 27 таблиц, в процессе выполнения использовалась информация из 25 источников.

Ключевые слова: электропривод, асинхронный двигатель, энергетические показатели, естественные характеристики, искусственные характеристики, преобразователь частоты.

Цель работы – теоретическое исследование регулируемого электропривода, выбор преобразовательного устройства, а также имитационное моделирование переходных процессов пуска, сброса и наброса нагрузки, а также остановки четырехстороннего станка на базе асинхронного двигателя с номинальной мощностью  $P_n=18,5$  кВт.

Был произведен выбор двигателя по каталогу, выбор преобразовательного устройства, расчет инвертора и выпрямителя, аппаратуры управления и защиты, а также выбор сечения кабеля сети высокого напряжения, построение естественных и искусственных механических и электромеханических характеристик двигателя, собрана имитационная модель, а также сняты переходные процессы пуска, сброса, наброса нагрузки и остановки. Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности, была выполнена экономическая часть.

В процессе работы использовалось как специальное обеспечение (Mathcad 15.0), так и стандартные программы (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio).

### Обозначения и сокращения

АД – Асинхронный двигатель;

ТРН-АД – Тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель;

ПЧ-АД – Преобразователь частоты – асинхронный двигатель;

АВК – Асинхронно-вентильный каскад;

АИН – Автономный инвертор напряжения;

КПД – Коэффициент полезного действия;

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Содержание                                                                                                                                      |    |
| РЕФЕРАТ .....                                                                                                                                   | 8  |
| Обозначения и сокращения .....                                                                                                                  | 8  |
| Введение .....                                                                                                                                  | 11 |
| Основная часть.....                                                                                                                             | 12 |
| 1. Расчетная часть.....                                                                                                                         | 13 |
| 1.1. Выбор двигателя по каталогу .....                                                                                                          | 13 |
| 1.2. Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода.....                                                         | 15 |
| 1.3. Расчет автономного инвертора напряжения .....                                                                                              | 18 |
| 1.4. Расчет выпрямителя .....                                                                                                                   | 20 |
| 1.5. Расчет и выбор аппаратуры управления и защиты .....                                                                                        | 21 |
| Вывод.....                                                                                                                                      | 22 |
| 2. Построение характеристик электродвигателя.....                                                                                               | 23 |
| 2.1. Определение дополнительных параметров двигателя по справочным техническим данным .....                                                     | 23 |
| 2.2. Определение параметров схемы замещения в абсолютных единицах по параметрам схемы замещения в относительных единицах.....                   | 24 |
| 2.3. Расчет и построение естественной механической характеристики.....                                                                          | 26 |
| 2.4. Расчет и построение естественных электромеханических характеристик .....                                                                   | 29 |
| 2.5. Расчет и построение искусственных механических характеристик.....                                                                          | 30 |
| 2.6. Расчет и построение искусственных электромеханических характеристик .....                                                                  | 33 |
| 2.7. Проведение IR-компенсации .....                                                                                                            | 36 |
| Вывод.....                                                                                                                                      | 38 |
| 3. Переходные процессы .....                                                                                                                    | 39 |
| Вывод.....                                                                                                                                      | 43 |
| 4. Социальная ответственность.....                                                                                                              | 44 |
| 4.1. Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды .....                                                                         | 44 |
| 4.2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды .....                                                                         | 48 |
| 4.3. Охрана окружающей среды.....                                                                                                               | 49 |
| 4.4. Защита в чрезвычайных ситуациях .....                                                                                                      | 50 |
| 4.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....                                                                          | 51 |
| Вывод.....                                                                                                                                      | 51 |
| 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. ....                                                                        | 52 |
| 5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения ..... | 53 |
| 5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....                                                                                  | 53 |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.2. Технология QuaD .....                                                 | 54 |
| 5.1.3. SWOT-анализ.....                                                      | 58 |
| 5.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований ..... | 65 |
| 5.3. Планирование научно-исследовательских работ .....                       | 66 |
| 5.3.1. Структура работ в рамках научного исследования .....                  | 66 |
| 5.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ .....                       | 67 |
| 5.3.3. Разработка графика проведения научного исследования .....             | 68 |
| 5.3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....                    | 72 |
| 5.4. Определение ресурсоэффективности проекта.....                           | 78 |
| Вывод.....                                                                   | 80 |
| Заключение.....                                                              | 81 |
| Список использованных источников.....                                        | 82 |

## Введение

Современный электропривод — это совокупность электрических машин, аппаратов и различных систем управления. Являясь основным источником потребления электрической энергии (Электропривод потребляет до 60% электрической энергии), электропривод также является главным источником механической энергии в промышленности.

Проблема регулирования скорости движения машин и механизмов с целью экономии электроэнергии решалась в последние десятилетия в основном с помощью регулируемых электроприводов. Причём, если относительно недавно преобладали регулируемые электроприводы постоянного тока, в настоящее время все чаще используются электроприводы переменного тока, как правило, с использованием асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Это объясняется достижениями микроэлектроники, которые позволяют реализовать сравнительно сложные алгоритмы управления электродвигателем переменного тока, который в общем случае предпочтительнее ДПТ по таким параметрам, как надёжность, масса, габариты и стоимость.

## Основная часть

Технологический процесс.

Многошпиндельные деревообрабатывающие станки являются наиболее эффективными, если перед предприятием стоит цель сэкономить значительное количество времени при обработке древесины в большом объеме. При обработке древесины на четырехстороннем станке экономия времени достигается за счет того, что все четыре плоскости одновременно подвергаются обработке. Четырехсторонний станок может иметь до десяти шпинделей, в зависимости от сложности желаемого профиля конечного изделия.

Данный станок состоит из следующих основных частей:

- Подающий и рабочий столы;
- Нижний и верхний шпиндели;
- Правый и левый шпиндели;
- Подающий и выталкивающий валы;
- Дополнительные шпиндели (в случае, если необходимо создать сложные формы профиля).

Для обеспечения возможности пропускать через станок заготовки разной толщины, подающий стол имеет возможность регулирования станины по вертикали.

Подающие ролики должны быть спроектированы надлежащим образом, чтобы обеспечивать максимальную тягу при минимальном износе роликов.

На первом этапе прохождения заготовки через станок производится обработка нижней и правой граней заготовки, которые являются базовыми для проведения операций по приданию нужной формы изделию.

Для вертикальных шпинделей необходима гибкая и надежная система управления, чтобы минимизировать затраты времени на изменение вида профиля. [23]

## 1. Расчетная часть

### 1.1. Выбор двигателя по каталогу

Электродвигатель является одним из основных элементов привода. От выбора типа двигателя, его мощности, частоты вращения вала зависят конструктивные и эксплуатационные характеристики, а также энергоэффективность рабочей машины и ее привода. Выбор электродвигателя предусматривает определение его мощности, типа, частоты вращения вала и основных размеров.

Статическая мощность станка равна 16,8 кВт.

По каталогу был выбран электродвигатель АИР160М2, работающий от сети напряжением 380 В и частотой 50 Гц, технические характеристики которого представлены в таблице 1. Габаритно-присоединительные размеры двигателя приведены в таблице 2 (размеры даны в миллиметрах).

Таблица 1. Технические характеристики двигателя АИР160М2

| Тип двигателя                               | Мощность, кВт                 | Номинальная<br>частота<br>вращения,<br>об/мин | Номинальный<br>ток, А                |
|---------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| АИР160М2                                    | 18,5                          | 1468                                          | 36                                   |
| Момент инерции<br>ротора, кг·м <sup>2</sup> | Коэффициент<br>мощности, о.е. | Коэффициент<br>полезного<br>действия, %       | Кратность<br>пускового тока,<br>о.е. |
| 0,053                                       | 0,88                          | 90                                            | 7,5                                  |

Таблица 2 – габаритно-присоединительные размеры двигателя АИР160М2

|            |            |          |       |          |            |            |            |          |       |
|------------|------------|----------|-------|----------|------------|------------|------------|----------|-------|
| $l_{30}^*$ | $h_{31}^*$ | $d_{24}$ | $l_1$ | $l_{10}$ | $l_{31}$   | $d_1$      | $d_{10}$   | $d_{20}$ |       |
| 660        | 420        | 350      | 110   | 210      | 108        | 42         | 15         | 300      |       |
| $d_{22}$   | $d_{25}$   | $b_{10}$ | $n$   | $h$      | $l_{21}^*$ | $l_{20}^*$ | $h_{10}^*$ | $h_5$    | $b_1$ |
| 19         | 250        | 254      | 4     | 160      | 15         | 5          | 20         | 45       | 12    |

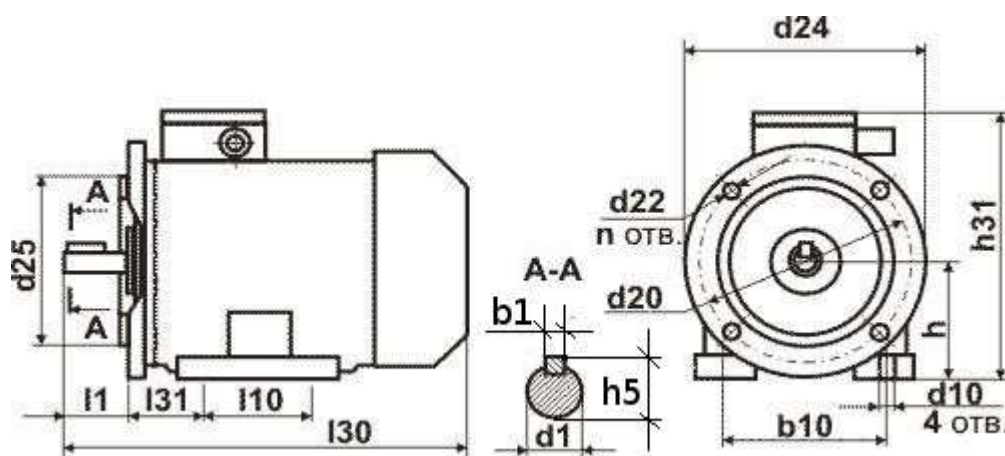


Рисунок 1 – габаритно-присоединительные размеры двигателя АИР160М2.

Параметры схемы замещения были рассчитаны с помощью методики, описанной в [2, 3]. Значения параметров представлены ниже:

Активное сопротивление обмотки статора  $R_1 = 0.062 \text{ Ом}$ ;

Реактивное сопротивление обмотки статора  $X_1 = 0.092 \text{ Ом}$ ;

Активное сопротивление обмотки ротора, приведённое к обмотке статора  $R_2' = 0.0201 \text{ Ом}$ ;

Реактивное сопротивление обмотки ротора, приведённое к обмотке статора  $X_2' = 0.15 \text{ Ом}$ ;

Сопротивление намагничивающей цепи  $X_m = 3.4 \text{ Ом}$ .

## 1.2. Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода

Одними из наиболее используемых систем управления электроприводами с асинхронными двигателями являются системы, представленные ниже:

- Тиристорный регулятор напряжения – Асинхронный двигатель (ТРН-АД)
- Преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД)
- Асинхронно-вентильный каскад (АВК)

У каждой из перечисленных схем есть свои преимущества и недостатки. Так, система ТРН-АД является наиболее простой и надежной системой, но имеет существенный недостаток, который заключается в больших потерях в обмотке ротора при работе на больших скольжениях, что уменьшает коэффициент полезного действия электропривода. Система АВК является наиболее энергоэффективной по сравнению с остальными, но имеет ряд недостатков, среди которых высокая стоимость преобразователей и низкий коэффициент мощности. Система ПЧ-АД позволяет избежать сложных переходных процессов, что обеспечивает работу оборудования в более экономичном режиме. Основным недостатком данной системы является более сложная конструкция. Наиболее рациональным решением для системы регулируемого электропривода будет являться система ПЧ-АД.

Преобразователь частоты - это устройство, состоящее из выпрямителя, который преобразует переменный ток промышленной частоты в постоянный и инвертора, преобразующего постоянный ток в переменный требуемых частоты и амплитуды.

Использованию системы ПЧ-АД сопутствует значительный экономический эффект от внедрения частотных преобразователей, который достигается благодаря следующим факторам:

- экономии электроэнергии до 50% - 60% за счет регулирования производительности путем изменения частоты вращения электродвигателя в

отличие от различных способов регулирования, например, регулирования способом включения/отключения и т.п.;

- повышения качества продукции;
- увеличения объема выпускаемой продукции и производительности производственного оборудования;
- увеличения срока службы технологического оборудования, которое достигается из-за улучшения динамики работы электропривода.

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) состоит из асинхронного электрического двигателя М и преобразователя частоты ПЧ (рисунок 1):

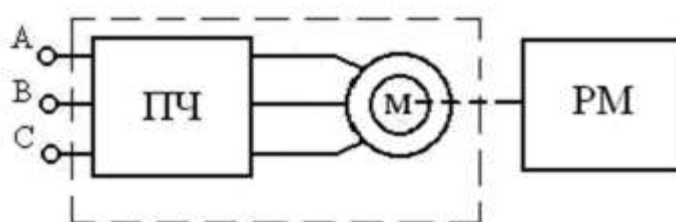


Рисунок 2 - Общая структура ЧРП

Преобразователь выбирается из условия:

$$I_{Н ПЧ} \geq I_{Н ДВ} , \text{ т.е. } I_{Н ПЧ} \geq 36$$

Выбираем преобразователь Siemens Sinamics G120P-18.5/35B, основные характеристики которого представлены в таблице 3.

Таблица 3. Характеристики преобразователя частоты Siemens Sinamics G120P-18.5/35B

| Характеристики                       | Величина |
|--------------------------------------|----------|
| Номинальный ток, А                   | 38       |
| Мощность, кВт                        | 18,5     |
| Напряжение, В                        | 400      |
| Масса, кг                            | 31,71    |
| Минимальная рабочая температура, °С  | 0        |
| Максимальная рабочая температура, °С | 60       |

Наиболее эффективного управления АД можно достичь при одновременном использовании частоты, как управляющего воздействия каналом регулирования скорости, и напряжения – в канале регулирования потока. М. П. Костенко является основоположником данного способа управления. Для идеального электродвигателя, у которого активное сопротивление обмотки статора приравнивается нулю справедлива зависимость:

$$\frac{U_1}{U_{1H}} = \frac{f_1}{f_{1H}} \sqrt{\frac{M_c}{M_H}}.$$

Следуя вышеприведенному уравнению можно регулировать как момент, так и скорость двигателя.

На данный момент широкое распространение получили способы регулирования, при которых отношение между  $U_1$  и  $f_1$  постоянно. Варианты управления перечислены ниже:

а)  $\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}$  ,      б)  $\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const}$       и в)  $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$  .

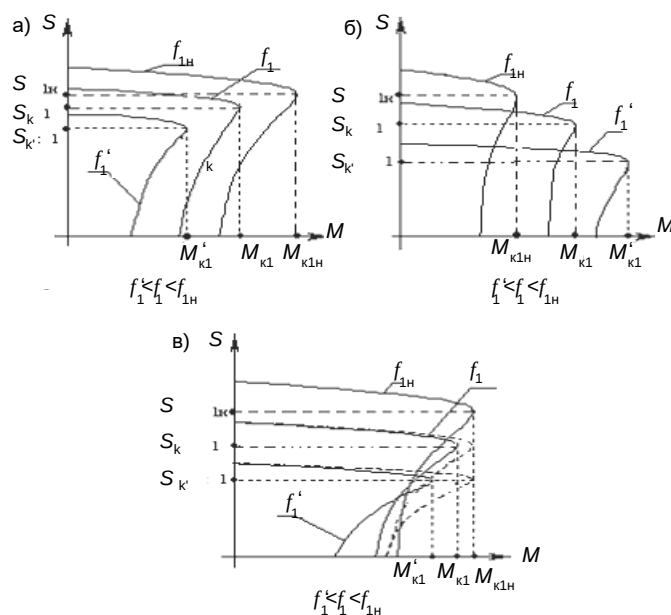


Рисунок 3 - Механические характеристики для различных законов частотного управления АД

Использовании закона  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  целесообразно при вентиляторном характере нагрузки. Этот закон позволяет получить большие моменты на высоких скоростях.

Закон  $U_1/\sqrt{f_1} = \text{const}$  позволяет получить характеристики с высоким пусковым моментом.

При использовании закона  $U_1/f_1 = \text{const}$  в теории можно получить характеристики с постоянным моментом, однако в реальных условиях при низкой частоте падение напряжения на активном сопротивлении статора приведет к нарушению оптимальности регулировки. Для постоянства момента при малых частотах необходимо провести компенсацию. В нашем случае наиболее целесообразно будет использование закона регулирования  $U_1/f_1 = \text{const}$ . [24]

### 1.3. Расчет автономного инвертора напряжения

Максимальный ток, проходящий через ключи инвертора:

$$I_{\text{сmax}} = \frac{P_{\text{H}} \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_{\text{дв}} \cos \phi \sqrt{3} U_{\text{л}}} = \frac{18,5 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1}{0,9 \cdot 0,88 \cdot \sqrt{3} \cdot 380} = 66,251 \text{ A}$$

Где  $k_1 = 1,2 - 1,5$  коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимый для обеспечения динамики ЭП,

$k_2 = 1,1 - 1,2$  коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока,

$U_{\text{л}}$ - линейное напряжение двигателя, В.

Выбираем IGBT транзистор IRGP50B60PD с параметрами:  $I_{\text{max}} = 75 \text{ A}$ ,  $U_{\text{max}} = 600 \text{ В}$ .

Потери в IGBT в проводящем состоянии

$$P_{\text{SS}} = \frac{I_{\text{сmax}}}{k_1} \cdot U_{\text{ce(sat)}} \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{D}{3 \cdot \pi} \cdot \cos \phi \right) = \frac{66,251}{1,2} \cdot 2,1 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot 3,14} \cdot 0,88 \right) = 24,776 \text{ Вт}$$

Где  $D \approx 0,95$  – максимальная скважность,

$U_{ce(sat)} = 2,1 - 2,2 \text{ В}$  - прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при  $I_{cp}$  и  $T_j = 150^\circ \text{C}$

Потери в IGBT при коммутации:

$$P_{sw} = \frac{1}{\pi \sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot f_{sw} (t_{c(on)} + t_{c(off)}) \cdot f_{sw}}{2} =$$

$$= \frac{1}{3,14 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{55,21 \cdot 513 \cdot (26 \cdot 10^{-9} + 50 \cdot 10^{-9}) \cdot 10 \cdot 10^3}{2} = 2,422 \text{ Вт}$$

$$I_{cp} = I_{cmax} / k_1 = 66,251 / 1,2 = 55,21 \text{ А}$$

$U_d = 1,35 \cdot U_L$ , т.к. схема выпрямителя мостовая

$U_{cc} = U_d = 513 \text{ В}$  – напряжение на коллекторе IGBT

$t_{c(on)} = 32 \cdot 10^{-9}$ ,  $t_{c(off)} = 234 \cdot 10^{-9}$  – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на открытие и закрытие транзистора соответственно  
 $f_{sw} = 8,5 \text{ кГц}$  – частота коммутаций ключей.

Суммарные потери в IGBT:

$$P_Q = P_{SS} + P_{SW} = 24,776 + 2,422 = 27,198 \text{ Вт.}$$

Потери диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{cp} \cdot U_{ec} \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{D}{3 \cdot \pi} \cdot \cos \phi \right) = 55,21 \cdot 1,5 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot \pi} \cdot 0,88 \right) = 17,697 \text{ Вт}$$

Где,  $U_{ec} = 1,5 \text{ В}$  – прямое падение напряжения на диоде в проводящем состоянии,

Потери диода при восстановлении запирающих свойств:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot (U_{cc} \cdot I_{tr} \cdot t_{tr} \cdot f_{sw}) = \frac{1}{8} \cdot (513 \cdot 55,21 \cdot 50 \cdot 10^{-9} \cdot 10 \cdot 10^3) = 1,77 \text{ Вт}$$

Где,  $t_{tr} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$  – продолжительность импульса обратного тока.

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DR} + P_{DS} = 17,697 + 1,77 = 19,467 \text{ Вт.}$$

Результирующие потери в IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_D + P_Q = 19,467 + 27,198 = 46,665 \text{ Вт.}$$

#### 1.4. Расчет выпрямителя

Максимальное значение среднего выпрямленного тока:

$$I_{dm} = \frac{\cos \phi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \frac{I_{сmax}}{\sqrt{2}} + n \cdot P_T}{U_d} =$$
$$= \frac{0,88 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot \frac{66,251}{\sqrt{2}} + 6 \cdot 46,666}{513} = 53,437 \text{ A}$$

Где:

$U_d = 1,35 \cdot U_{л}$  – среднее выпрямленное напряжение;

$n = 6$  – кол-во пар IGBT/FWD в инверторе.

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 2,721 = 2,843 \text{ A},$$

Где,  $k_{cc} = 1,045$  для мостовой трехфазной схемы.

Максимальное обратное напряжение диода:

$$U_{vm} = k_{з.н} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{л} \cdot k_c \cdot k_{с.н} + \Delta U_{\Pi} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,1 \cdot 1,35 + 100 = 977,845 \text{ В}$$

Где

$k_c = 1,1$  – к-т допустимого повышения напряжения сети

$k_{з.н} = 1,2$  – коэффициент запаса по напряжению

$k_{с.н} = 1,35$  – коэффициент схемы для номинальной нагрузки

$\Delta U_{\Pi} = 100\text{--}150 \text{ В}$  – запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее  $I_{vm}$ ) и по классу напряжения (не менее  $U_{vm}/100$ ).

Выбираем диод КД239А с параметрами  $U_{обрмакс} = 1000 \text{ В}$ ,  $I_{пр} = 60 \text{ А}$ .

Расчет потерь в выпрямителе для установившегося режима работы ЭП:

$$P_{DV} = m_v \cdot k_{cs} \cdot (U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1}) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} = 6 \cdot 0,577 \cdot 1 \cdot \frac{55,842}{1,2} = 154,167 \text{ Вт}$$

Где:

$$k_{cs} = 0,577$$

$$m_v = 6$$

$$U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \leq 1.$$

### 1.5. Расчет и выбор аппаратуры управления и защиты

По наибольшему току было выбрано реле максимального тока РТ140-200, технические характеристики которого приведены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики реле максимального тока РТ140-200

| Характеристики                         | Величина   |
|----------------------------------------|------------|
| Типоисполнение                         | РТ140/200  |
| Пределы уставки на ток срабатывания, А | 50 – 100   |
| Номинальный ток, А                     | 16         |
| Потребляемая мощность, ВА              | 8          |
| Номенклатурный номер                   | 21 140 010 |

Также необходимо выбрать автоматический выключатель. Выбор производится согласно следующим критериям – номинальный ток расцепителя должен быть больше длительного (в случае единичного электроприемника, длительный ток равен номинальному), и ток короткого замыкания должен быть не менее чем в 1,5 раза больше номинального тока, т.е.:

$$I_{н.расц} \geq I_{дл}, \text{ где } I_{дл} = I_{ном};$$

$$I_{н.расц} \geq 36.$$

$$I_{\text{кз}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{ном}};$$

$$I_{\text{кз}} \geq 1,5 \cdot 36.$$

Выбираем автоматический выключатель серии ВА13-29 с номинальным током 63 А и уставкой срабатывания по току 75 А.

### Вывод

Был выбран асинхронный двигатель по каталогу, выбрано преобразовательное устройство и метод управления, рассчитаны автономный инвертор напряжения и выпрямитель, а также выбрана аппаратура управления и защиты.

## 2. Построение характеристик электродвигателя

Параметры асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором АИР160М2 приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры электродвигателя АИР160М2

|                                      |                                                     |                         |                             |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| $P_{2\text{ном}} = 18,5 \text{ кВт}$ | $R''_2 = 0,023 + \Delta r = 0,0201$                 | $m_k = 2,3$             | $\eta_n = 90\%$             |
| $x''_2 = 0,15$                       | $s_n = 2,1\%$                                       | $\cos \varphi_n = 0,88$ | $n_0 = 1500 \text{ об/мин}$ |
| $s_k = 8,047\%$                      | $x'_\mu = 3 + \Delta x = 3,4$                       | $m_\Pi = 2,2$           | $R'_1 = 0,062$              |
| $\sin \varphi_n = 0,51029$           | $J_{\text{дв}} = 0,053 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ | $z_p = 2$               | $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$    |

### 2.1. Определение дополнительных параметров двигателя по справочным техническим данным

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}}{z_p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0,021) \cdot 157 = 153,703 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{18500}{153,703} = 120,362 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток (действующие значения) статора при схеме соединения обмоток звезда:

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = I_{1\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{18500}{3 \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,9} = 20,4899 \text{ А}.$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске:

$$I_{1\text{макс}} = k_{\text{идв}} \cdot I_{1\text{лн}} = 5 \cdot 20,4899 = 102,44994 \text{ А}.$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_k = m_k \cdot M_{дв.н} = 2,3 \cdot 120,362 = 276,8325 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске:

$$M_{дв.пуск} = m_{п} \cdot M_{дв.н} = 2,2 \cdot 120,362 = 264,79639 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

## 2.2. Определение параметров схемы замещения в абсолютных единицах по параметрам схемы замещения в относительных единицах

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = R_1' \cdot \frac{U_{1фн}}{I_{1фн}} = 0,062 \cdot \frac{220}{20,4899} = 1,14983 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора:

$$X_{1\sigma} = X_1' \cdot \frac{U_{1фн}}{I_{1фн}} = 0,092 \cdot \frac{220}{20,4899} = 1,7062 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{1,7062}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 5,43 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора:

$$R_2' = R_2'' \cdot \frac{U_{1фн}}{I_{1фн}} = 0,0201 \cdot \frac{220}{20,4899} = 0,37277 \text{ Ом}.$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора:

$$X_{2\sigma}' = X_2'' \cdot \frac{U_{1фн}}{I_{1фн}} = 0,15 \cdot \frac{220}{20,4899} = 2,78185 \text{ Ом}.$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния:

$$L_{2\sigma}' = \frac{X_{2\sigma}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{2,78185}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 8,85938 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме:

$$X_{\text{кн}} = X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' = 1,7062 + 2,78185 = 4,48805 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление):

$$X_{\mu} = R_{\mu}' \cdot \frac{U_{1\text{фн}}}{I_{1\text{фн}}} = 3,4 \cdot \frac{220}{20,4899} = 63,05519 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания):

$$L_{\text{м}} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{63,05519}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,20081 \text{ Гн.}$$

Ток холостого тока двигателя:

$$I_0 = \frac{E_1}{X_{\mu}} = \frac{349,07256}{63,05519} = 5,53598 \text{ А.}$$

Где ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора (главным полем) в номинальном режиме:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{фн}} \cdot R_1)^2 + (U_{1\text{фн}} \cdot \sin \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{фн}} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(380 \cdot 0,88 - 20,4899 \cdot 1,14983)^2 + (380 \cdot 0,51 - 20,4899 \cdot 1,7062)^2} = \\ &= 349,07256 \text{ В.} \end{aligned}$$

*Проверка адекватности расчетных параметров двигателя*

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}^* &= \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \left[ X_{\text{кн}}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 380 \cdot 37277}{157 \cdot 0,021 \left[ 4,48805^2 + \left( 1,14983 + \frac{0,37277}{0,021} \right)^2 + \left( \frac{1,14983 \cdot 0,37277}{0,021 \cdot 63,05519} \right)^2 \right]} = \\ &= 129,75106 \text{ Нм;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\text{эм.н}}^{**} &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_m + L_{2\sigma}} \cdot \psi_{2н} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{фн}} - I_0} = \\
&= \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,20081}{0,20081 + 0,0085938} \cdot 1,57218 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{20,4899 - 5,53598} = \\
&= 126,02888 \text{ Нм}
\end{aligned}$$

Где  $\psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 5,53598 \cdot 0,20081 = 1,57218 \text{ Вб}$ .

Т.к. условия  $M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1M_{\text{дв.н}}; 120,362 < 129,75106 \leq 132,3982$ ;

$M_{\text{эм.н}}^* \approx M_{\text{эм.н}}^{**}; 129,75106 \approx 126,02888$  выполняется, то расчетные параметры двигателя адекватны.

### 2.3. Расчет и построение естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика  $M_{\text{эм}}(\omega)$  электродвигателя для частоты  $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$  рассчитывается по выражению

$$M_{\text{эм}}(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_n \left[ X_{\text{кн}}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}$$

где  $M_{\text{эм}}$  - электромагнитный момент двигателя, Н · м;  $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$

По результатам расчета строится механическая характеристика  $\omega(M_{\text{эм}})$ , изображенная на рисунке 4.

Таблица 6 – результаты, полученные в результате расчета

|                         |          |          |           |          |           |
|-------------------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| s                       | 0,6815   | 0,5223   | 0,363     | 0,2038   | 0,04459   |
| $\omega$ , рад/с        | 50       | 75       | 100       | 125      | 150       |
| $M_{\text{эм}}$ , Н · м | 65,55479 | 83,39022 | 113,86611 | 173,9131 | 208,55227 |

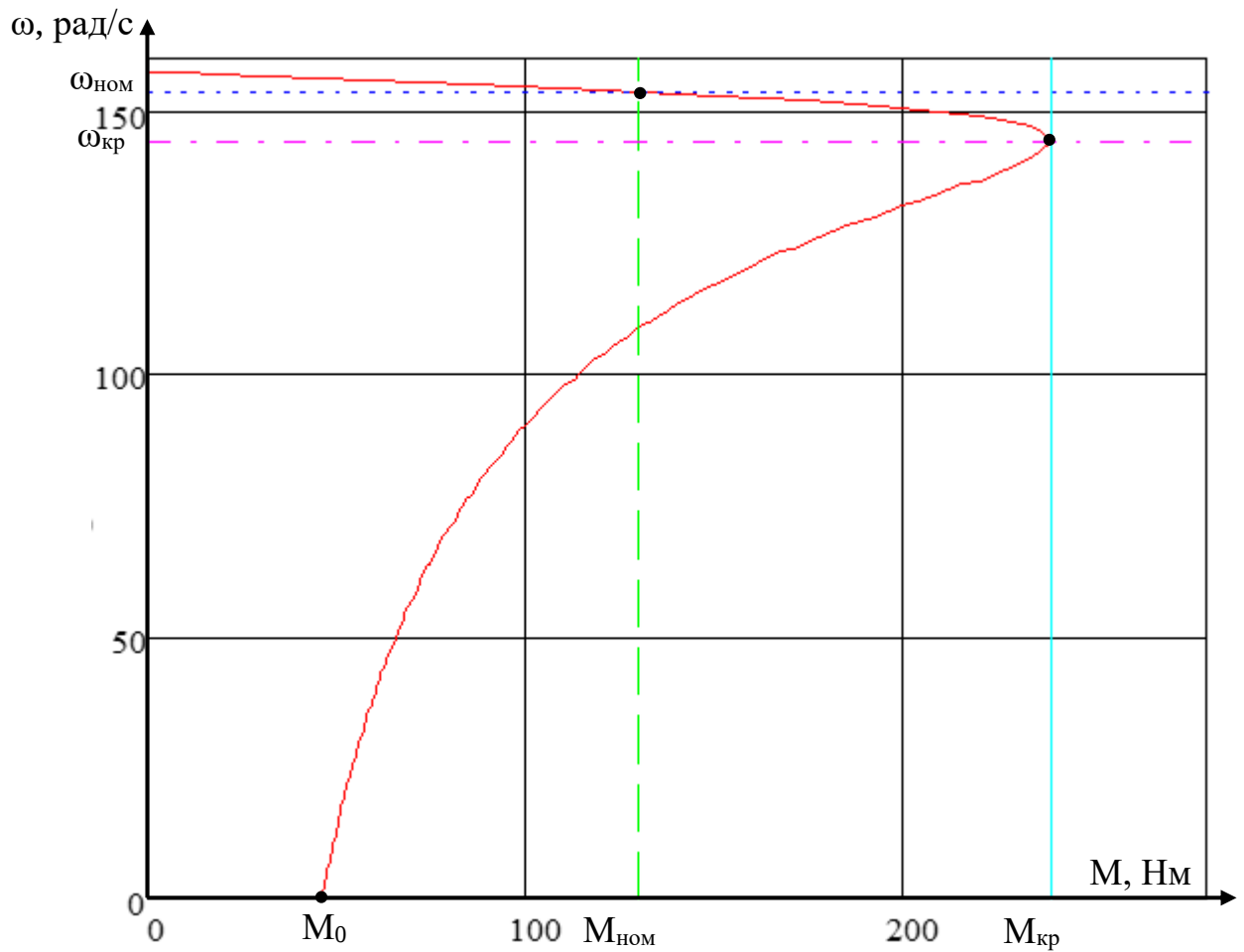


Рисунок 4 - Естественная механическая характеристика

Параметры характерных точек на естественной механической характеристике двигателя:

-Значение электромагнитного номинального момента при номинальном скольжении  $s_H$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{эм}}(s_H) = M_{\text{эм.н}} &= \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \left[ X_{\text{кн}}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = \\
 &= \frac{3 \cdot 380 \cdot 37277}{157 \cdot 0,021 \left[ 4,48805^2 + \left( 1,14983 + \frac{0,37277}{0,021} \right)^2 + \left( \frac{1,14983 \cdot 0,37277}{0,021 \cdot 63,05519} \right)^2 \right]} = \\
 &= 129,75106 \text{ Нм};
 \end{aligned}$$

-Значение критического скольжения

$$s_k = R_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + (\frac{R_1}{X_\mu})^2}{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0,37277 \cdot \sqrt{\frac{1 + (\frac{1,14983}{63,05519})^2}{1,14983^2 + 4,48805^2}} = 0,08047$$

-Значение электромагнитного критического момента при критическом скольжении

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}(s_k) &= \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2}{\omega_0 \cdot 2 \left[ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2) \cdot (1 + (\frac{R_1}{X_\mu})^2)} \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 380}{157 \cdot 2 \left[ 1,14983 + \sqrt{(1,14983^2 + 4,48805^2) \cdot (1 + (\frac{1,14983}{63,05519})^2)} \right]} = \\ &= 238,53975 \text{ Нм}; \end{aligned}$$

## 2.4. Расчет и построение естественных электромеханических характеристик

Естественные электромеханические характеристики  $I_1(s)$  и  $I_2'(s)$  электродвигателя рассчитывается для частоты  $f_{1н} = 50\text{Гц}$  рассчитывается по выражению:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega) + 2 \cdot I_0^2 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi 2(\omega)}$$

Где  $I_1 = I_\phi$  – действующее значение фазного тока двигателя, А;

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1\phi н}}{\pm \sqrt{X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\omega_0 - \omega} \cdot X_\mu\right)^2}},$$

-Приведенный к обмотке статора ток ротора;

$$I_0 = \frac{U_{1\phi н}}{\sqrt{R_1^2 + (X_\mu + X_{1\sigma})^2}} = \frac{380}{\sqrt{1,149^2 + (63,05 + 1,71)^2}} = 5,8667 \text{ А.}$$

-действующее значение тока холостого хода;

$$\sin \varphi 2(\omega) = \frac{X_{кн}}{\sqrt{X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\omega_0 - \omega} \cdot X_\mu\right)^2}} =$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики  $\omega(I_1)$  и  $\omega(I_2')$  Рис.5.

Таблица 7 - результаты, полученные в результате расчета

|                          |       |       |       |       |        |       |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| $\omega$                 | 140,4 | 124,8 | 109,2 | 93,6  | 62,4   | 46,8  | 31,2  | 15,6  | 0     |
| $I_1(\omega), \text{А}$  | 62,83 | 75,58 | 80,07 | 82,22 | 84,25  | 84,80 | 85,21 | 85,51 | 85,75 |
| $\sin \varphi 2(\omega)$ | 0,692 | 0,834 | 0,88  | 0,90  | 0,93   | 0,93  | 0,94  | 0,94  | 0,94  |
| $I_2'(\omega), \text{А}$ | 58,63 | 70,62 | 74,84 | 76,86 | 78,774 | 79,29 | 79,6  | 79,95 | 80,18 |

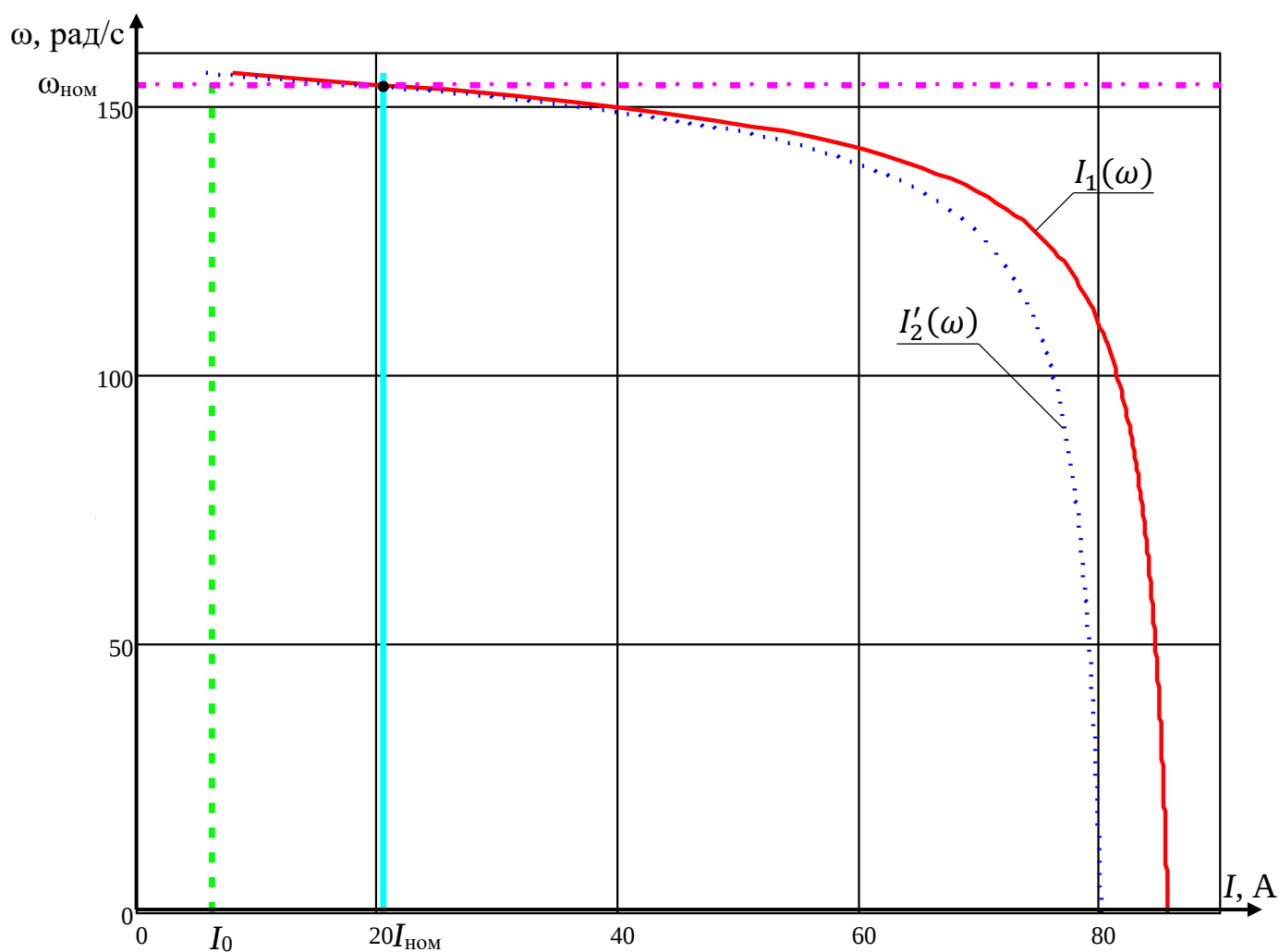


Рисунок 5 - Естественные электромеханические характеристики

## 2.5. Расчет и построение искусственных механических характеристик

Производим расчет семейства механических характеристик в диапазоне частот от  $f_{\text{ном}}$  до  $f_2$ .

$$f_1 = 35 \text{ Гц}$$

$$M_{эм1}(\omega) = \frac{3 \cdot (U_{1фн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}})^2 \cdot R_2}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot a \cdot \left[ X_{кн}^2 \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2}{a} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2}{a \cdot X_{\mu 0} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]},$$

$$\text{Где } a = \frac{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} - \omega}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}}$$

По результатам расчета строится механическая характеристика  $\omega(M_{эм1})$ ,  
Рис. 6

Таблица 8 - результаты, полученные в результате расчета

|                   |        |        |        |        |        |       |         |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|
| $s$               | 1      | 0,816  | 0,633  | 0,449  | 0,266  | 0,083 | 0,00917 |
| $\omega$ , рад/с  | 0      | 20     | 40     | 60     | 80     | 100   | 109     |
| $M_{эм1}$ , Н · м | 59,072 | 70,709 | 87,864 | 115,28 | 163,14 | 211,2 | 40,15   |

$$f_2 = 13 \text{ Гц}$$

$$M_{эм2}(\omega) = \frac{3 \cdot (U_{1фн} \cdot \frac{f_2}{f_{1н}})^2 \cdot R_2}{\omega_0 \cdot \frac{f_2}{f_{1н}} \cdot a \cdot \left[ X_{кн}^2 \cdot \left( \frac{f_2}{f_{1н}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2}{a} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2}{a \cdot X_{\mu 0} \cdot \frac{f_2}{f_{1н}}} \right)^2 \right]},$$

$$\text{Где } a = \frac{\omega_0 \cdot \frac{f_2}{f_{1н}} - \omega}{\omega_0 \cdot \frac{f_2}{f_{1н}}}$$

По результатам расчета строится механическая характеристика  $\omega(M_{эм2})$ ,  
изображенные на рисунке Рис.6.

Таблица 9 - результаты, полученные в результате расчета

|                          |       |       |        |        |         |         |       |
|--------------------------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|-------|
| $s$                      | 1     | 0,877 | 0,755  | 0,633  | 0,510   | 0,265   | 0,02  |
| $\omega$ , рад/с         | 0     | 5     | 10     | 15     | 20      | 30      | 40    |
| $M_{\text{эм2}}$ , Н · м | 72,66 | 79,32 | 87,152 | 96,349 | 106,976 | 127,623 | 90,36 |

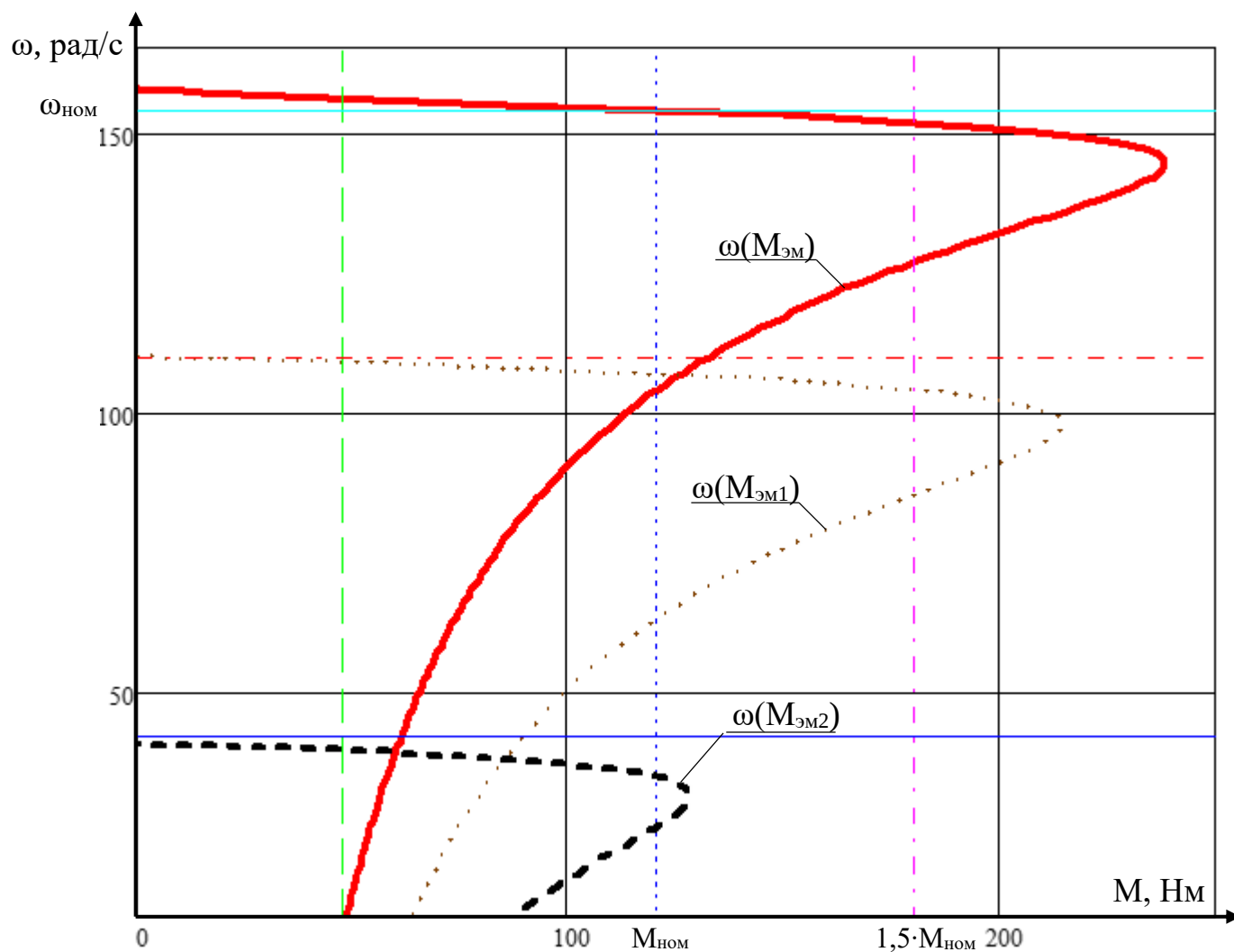


Рисунок 6 - Искусственные механические характеристики

## 2.6. Расчет и построение искусственных электромеханических характеристик

Рассчитываю семейство электромеханических характеристик в диапазоне частот от  $f_1$  до  $f_2$ .

При частоте  $f_1$

$$I_{11}(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(\omega) \cdot \sin \varphi_2(\omega)}$$

—действующее значение фазного тока двигателя, А;

$$I_2(\omega) = \frac{U_{1\phi H} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\pm \sqrt{\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{a}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{a \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}},$$

$$\text{Где } a = \frac{\omega_0 \frac{f_1}{f_{1H}} - \omega}{\omega_0 \frac{f_1}{f_{1H}}}$$

-Приведенный к обмотке статора ток ротора;

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{R_1^2 + (X_\mu + X_{1\sigma})^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \frac{380 \cdot \frac{35}{50}}{\sqrt{1,149^2 + (63,05 + 1,71)^2 \cdot \left(\frac{35}{50}\right)^2}} = 5,8667 \text{ А.}$$

-действующее значение тока холостого хода;

$$\sin \varphi_{21}(\omega) = \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{a}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{a \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}},$$

$$\text{Где } a = \frac{\omega_0 \frac{f_1}{f_{1H}} - \omega}{\omega_0 \frac{f_1}{f_{1H}}}$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики  $\omega(I_1 1)$  и  $\omega(I_2' 1)$  Рис.7.

Таблица 10 - результаты, полученные в результате расчета

| $\omega$                    | 109   | 100    | 80     | 60     | 40     | 20    | 0      |
|-----------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| $I_2' 1(\omega), A$         | 5,671 | 38,34  | 51,68  | 54,266 | 55,277 | 55,81 | 56,13  |
| $\sin \varphi_{21}(\omega)$ | 0,067 | 0,51   | 0,78   | 0,847  | 0,875  | 0,891 | 0,899  |
| $I_1 1(\omega), A$          | 8,428 | 41,649 | 56,373 | 59,317 | 60,478 | 61,09 | 61,458 |

При частоте  $f_2$

$$I_1 2(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(\omega) + 2 \cdot I_0^2 \cdot I_2^2(\omega) \cdot \sin \varphi_{21}(\omega)}$$

—действующее значение фазного тока двигателя, А;

$$I_2^2 2(\omega) = \frac{U_{1\text{фн}} \cdot \frac{f_2}{f_{1\text{н}}}}{\pm \sqrt{(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_2}{f_{1\text{н}}})^2 + (R_1 + \frac{R_2}{a})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2}{a \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_2}{f_{1\text{н}}}})^2}},$$

$$\text{Где } a = \frac{\omega_0 \cdot \frac{f_2}{f_{1\text{н}}} - \omega}{\omega_0 \cdot \frac{f_2}{f_{1\text{н}}}}$$

-Приведенный к обмотке статора ток ротора;

$$I_0 = \frac{U_{1\text{фн}} \cdot \frac{f_2}{f_{1\text{н}}}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{\mu} + X_{1\sigma})^2 \cdot (\frac{f_2}{f_{1\text{н}}})^2}} = \frac{380 \cdot \frac{13}{50}}{\sqrt{1,149^2 + (63,05 + 1,71)^2 \cdot (\frac{13}{50})^2}} = 5,854 \text{ A.}$$

-действующее значение тока холостого хода;

$$\sin \varphi_{22}(\omega) = \frac{X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_2}{f_{1\text{н}}}}{\sqrt{X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_2}{f_{1\text{н}}} + (R_1 + \frac{R_2}{a})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2}{a \cdot X_{\mu}} \cdot \frac{f_2}{f_{1\text{н}}})^2}},$$

$$\text{Где } a = \frac{\omega_0 \frac{f_2}{f_{1\text{н}}} - \omega}{\omega_0 \frac{f_2}{f_{1\text{н}}}}$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики  $\omega(I_1 2)$  и  $\omega(I_2' 2)$  Рис. 7.

Таблица 11 - результаты, полученные в результате расчета

| $\omega$                    | 41    | 35     | 28     | 21     | 14     | 7      | 0      |
|-----------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $I_2' 2(\omega), \text{A}$  | 1,18  | 16,858 | 19,523 | 20,242 | 20,559 | 20,736 | 20,847 |
| $\sin \varphi_{21}(\omega)$ | 0,014 | 0,296  | 0,446  | 0,519  | 0,562  | 0,589  | 0,608  |
| $I_1 2(\omega), \text{A}$   | 5,988 | 19,413 | 22,749 | 23,816 | 24,336 | 24,643 | 24,846 |

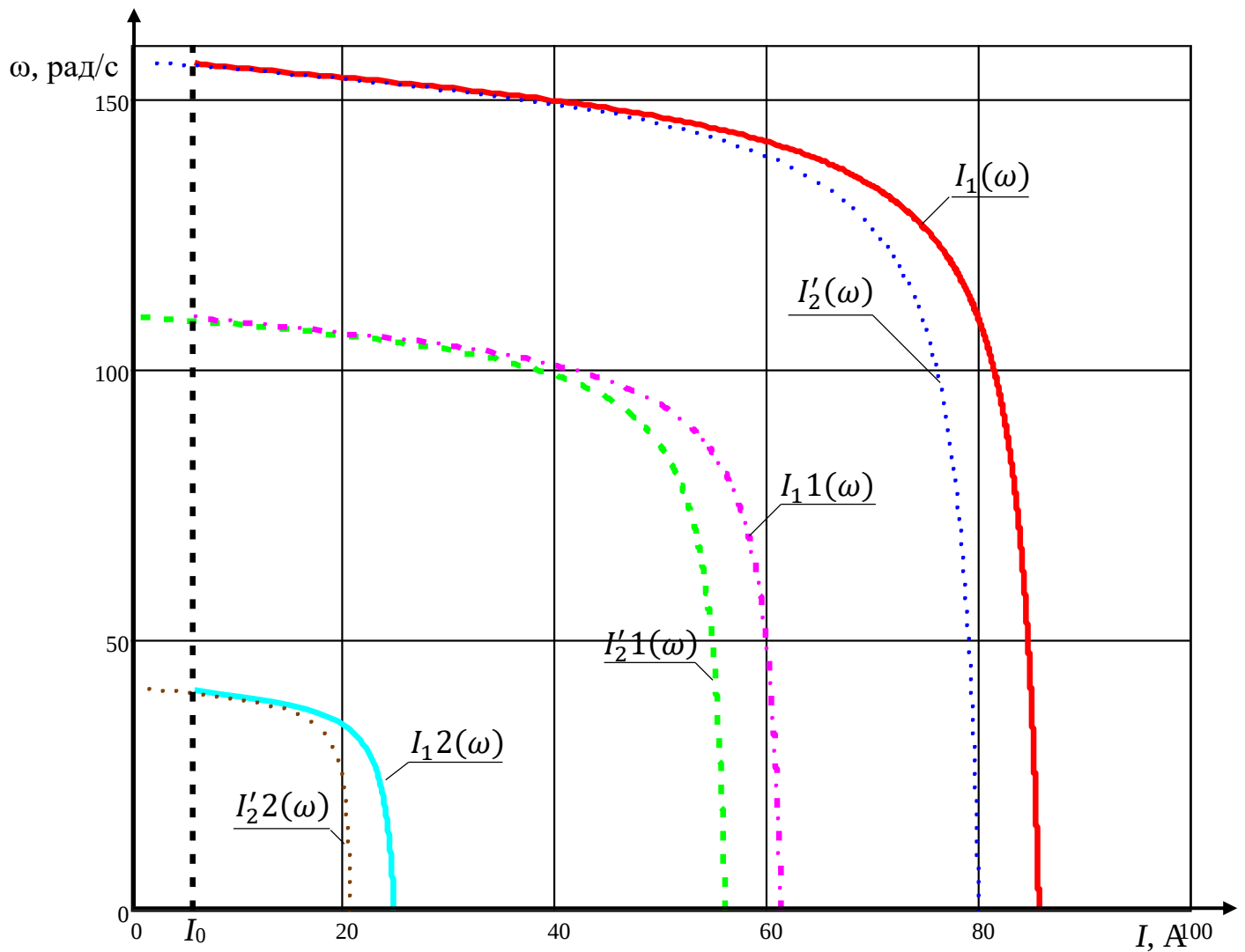


Рисунок 7 - Искусственные электромеханические характеристики

## 2.7. Проведение IR-компенсации

На искусственных характеристиках при частоте  $f_2=13$  Гц не выполняется следующее условие:

$$M_{эм2} \geq 1,5 \cdot M_{дв.н}$$

Поэтому необходимо провести IR-компенсацию, но необходимо следить за тем, чтобы компенсирующее напряжение не было слишком малым (в этом случае двигатель не сможет обеспечить выполнение вышеприведенного условия). Напряжение компенсации также не должно быть слишком большим, потому что двигатель перейдет в режим

магнитного насыщения, что приведет к большим броскам тока, в результате которых двигатель может отключиться.

Определяем, какое компенсирующее напряжение нам нужно.

Для этого находим ток  $I_1$  ( $\omega$ ) при рабочей угловой скорости, когда  $f_2=13$  Гц:

$$I_1(\omega_{расч2}) = I_1(41) = 16,4919 \text{ A}$$

Компенсирующее напряжение:

$$U_{комп} = I_1(\omega_{расч2}) \cdot R_1 = 16,4919 \cdot 1,14983 = 18,96288 \text{ B}$$

Полученное компенсирующее напряжение прибавляем к напряжению питания:

$$M_{эм2,скомп}(\omega) = \frac{3 \cdot (U_{комп} + U_{1фн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}})^2 \cdot R_2}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot a \cdot \left[ X_{кн}^2 \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2}{a} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2}{a \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]},$$

$$\text{Где } a = \left( \frac{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} - \omega}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)$$

Получаем характеристики, представленные на рисунке 8:

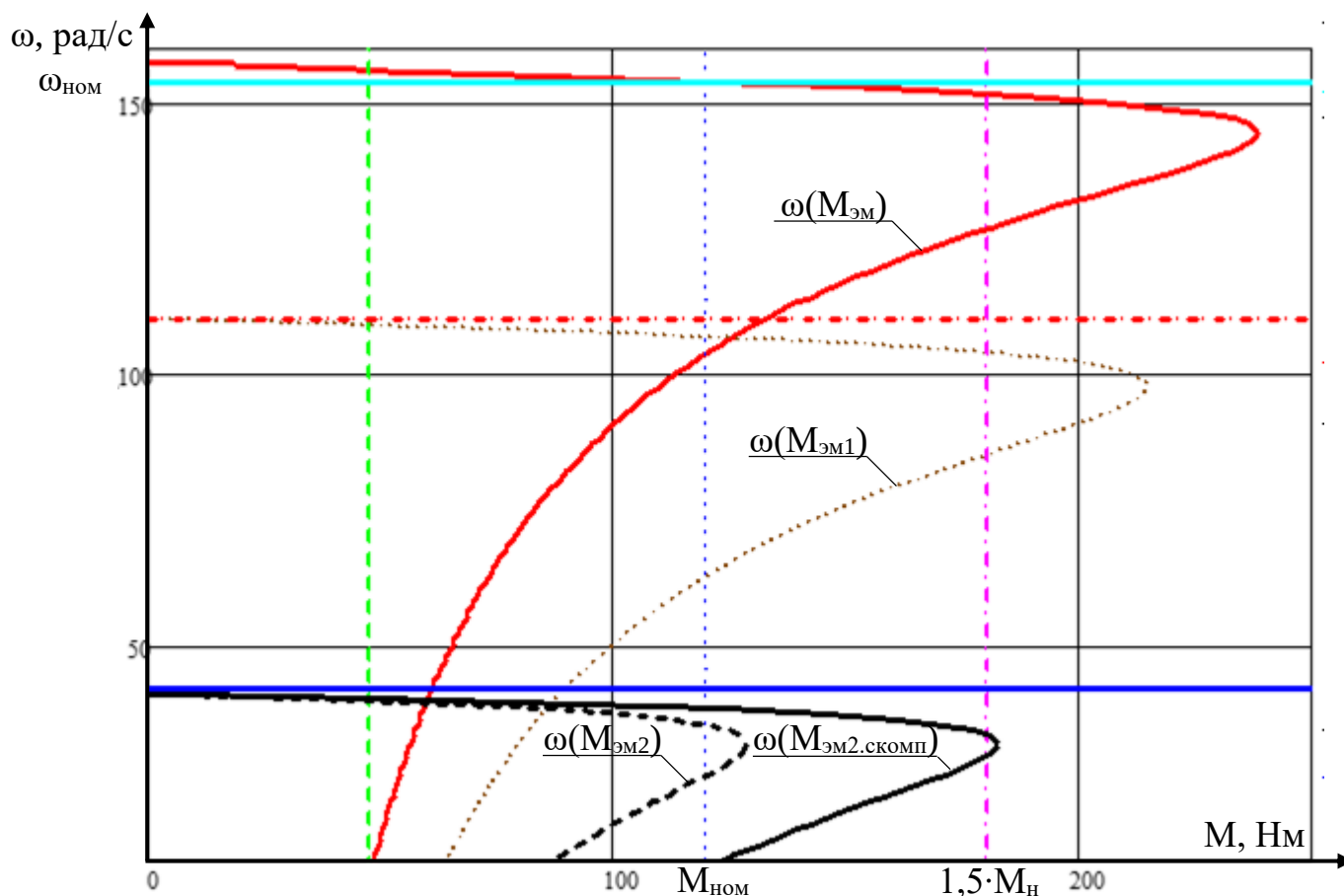


Рисунок 8 - Механические характеристики при различных частотах  $\omega(M_{ЭМ})$ ,  $\omega(M_{ЭМ1})$ ,  $\omega(M_{ЭМ2})$  и скомпенсированная  $\omega(M_{ЭМ2.СКОМП})$ .

Как видно из рисунка 6, компенсация дала желаемый результат и условие  $M_{ЭМ2} \geq 1,5 \cdot M_{дв.н}$  выполняется. Это значит, что будет обеспечена корректная работа электродвигателя на номинальную нагрузку при наименьшей частоте тока, питающего статор.

### Вывод

Были рассчитаны и построены естественные и регулировочные механические и электромеханические характеристики при различных частотах в диапазоне регулирования, а также проведена IR-компенсация.

### 3. Переходные процессы

При исследовании динамики АД принимается ряд допущений:

- 1) параметры обмоток всех фаз имеют одинаковые значения, т.е. имеет место симметричный режим работы;
- 2) магнитное поле электрической машины имеет синусоидальное распределение вдоль воздушного зазора;
- 3) не учитываются потери в стали, вызываемые протеканием вихревых токов в магнитопроводе двигателя и его перемагничиванием;
- 4) не учитывается насыщение магнитной цепи АД;
- 5) эффект вытеснения токов в проводниках ротора пренебрежимо мал.

На рисунке 7 представлена структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат. []

Параметры схемы замещения были рассчитаны в пункте 2.1. Рассчитаем коэффициенты структурной схемы.

$$K_r = \frac{L_\mu}{L'_2} = \frac{0,20081}{0,2097} = 0,9578;$$

$$L_e = L_1 - \frac{L_\mu^2}{L'_2} = 0,2063 - \frac{0,20081^2}{0,2097} = 0,014 \text{ Гн};$$

$$R_e = R_1 + R'_2 \cdot K_r^2 = 1,14983 + 0,37277 \cdot 0,9578^2 = 1,492 \text{ Ом};$$

$$A_r = \frac{R'_2}{L'_2} = \frac{0,37277}{0,2097} = 1,778.$$

Момент инерции считаем равным моменту инерции двигателя, умноженному на 2:

$$J = 2 \cdot J_{\text{дв}} = 2 \cdot 0,053 = 0,106 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Осуществляем переход от трехфазной системы напряжений к неподвижной двухфазной, т.е.

$$\begin{cases} U_A(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \\ U_B(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t - 120^\circ) \\ U_C(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t + 120^\circ) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U_\alpha(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \\ U_\beta(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \cos(314 \cdot t) \end{cases}.$$

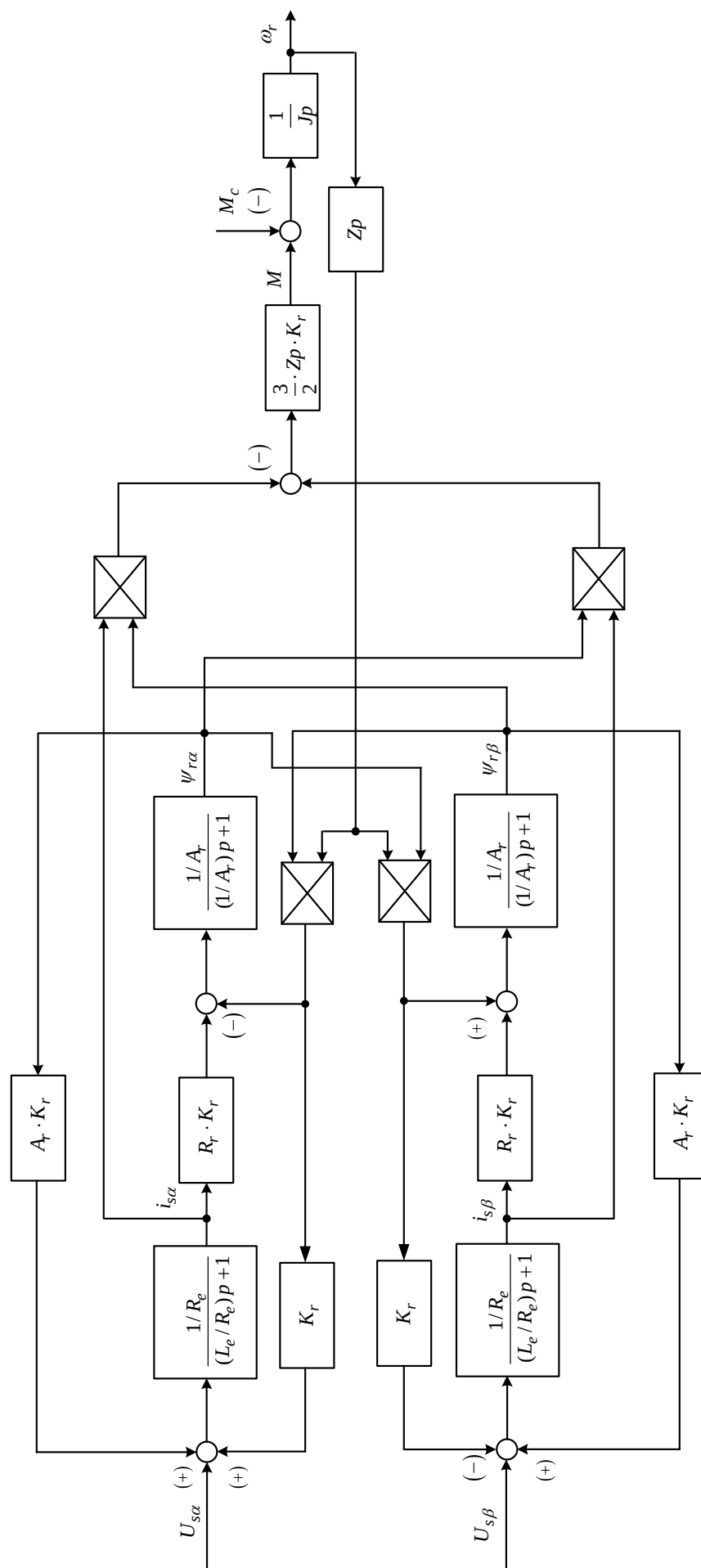


Рисунок 9 – Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

Согласно рисунку 9, строим имитационную модель в программной среде MATLAB Simulink. Модель представлена на рисунке 10.

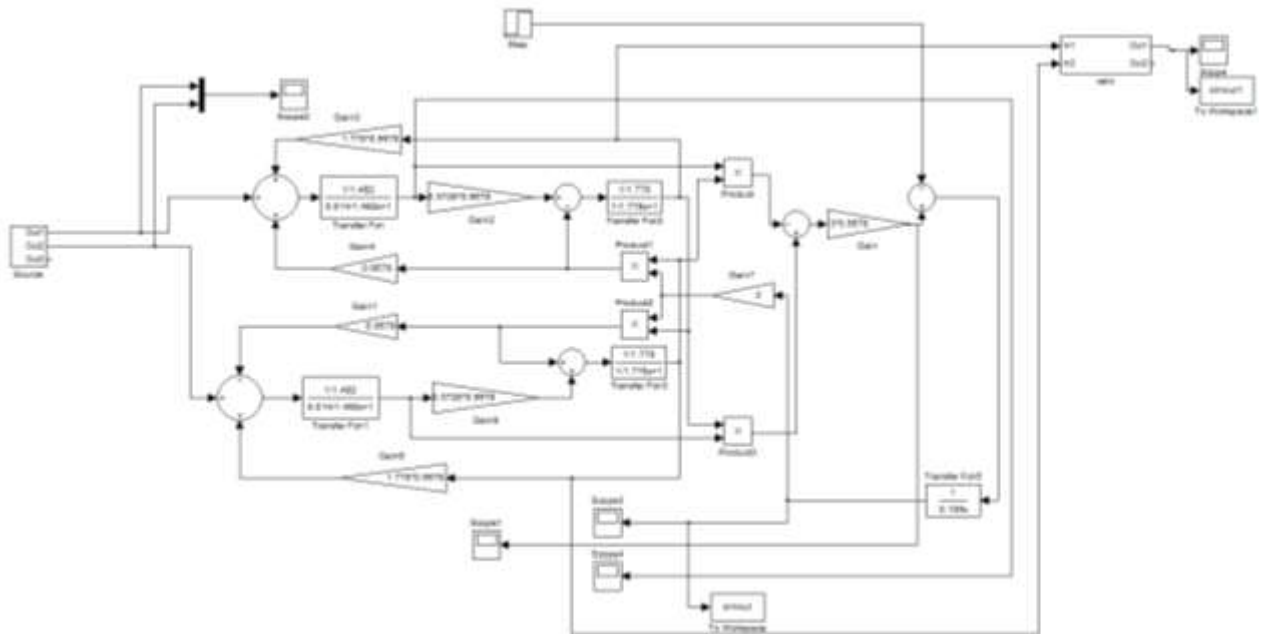


Рисунок 10 – Имитационная модель асинхронного электродвигателя АИР160М2 в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink.

Модель подсистемы «Source» (источник синусоидальных напряжений) представлена на рисунке 11.

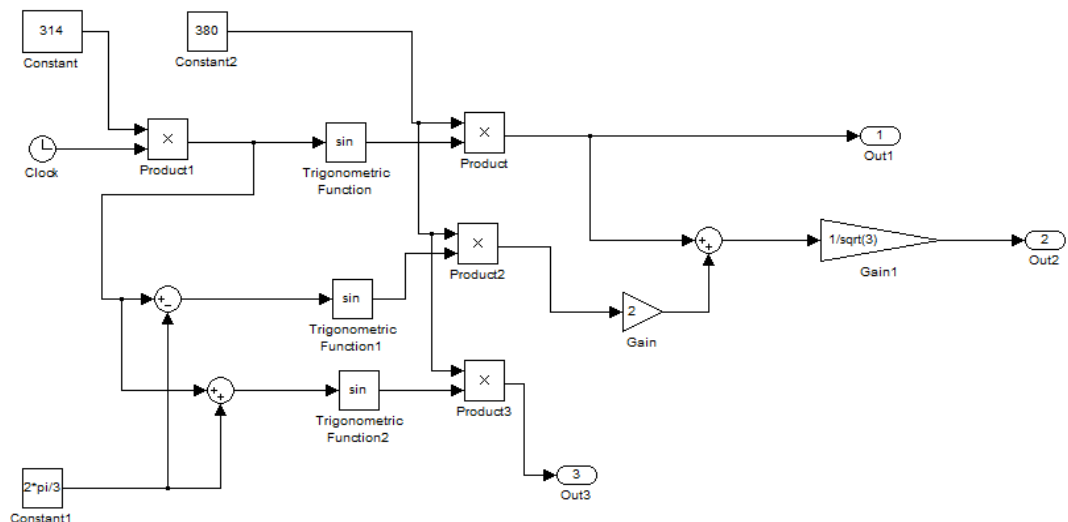


Рисунок 11 – модель подсистемы «Source».

Переходный процесс при прямом пуске асинхронного электродвигателя представлен на рисунке 12, при набросе и сбросе нагрузки – на рисунке 13, при остановке – на рисунке 14.

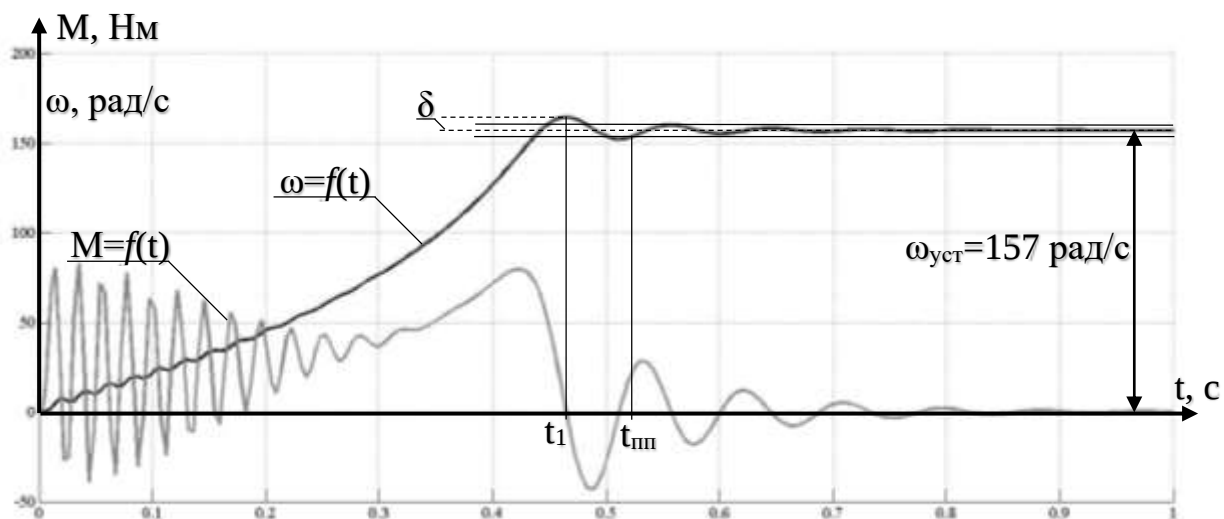


Рисунок 12 – Переходные процессы пуска

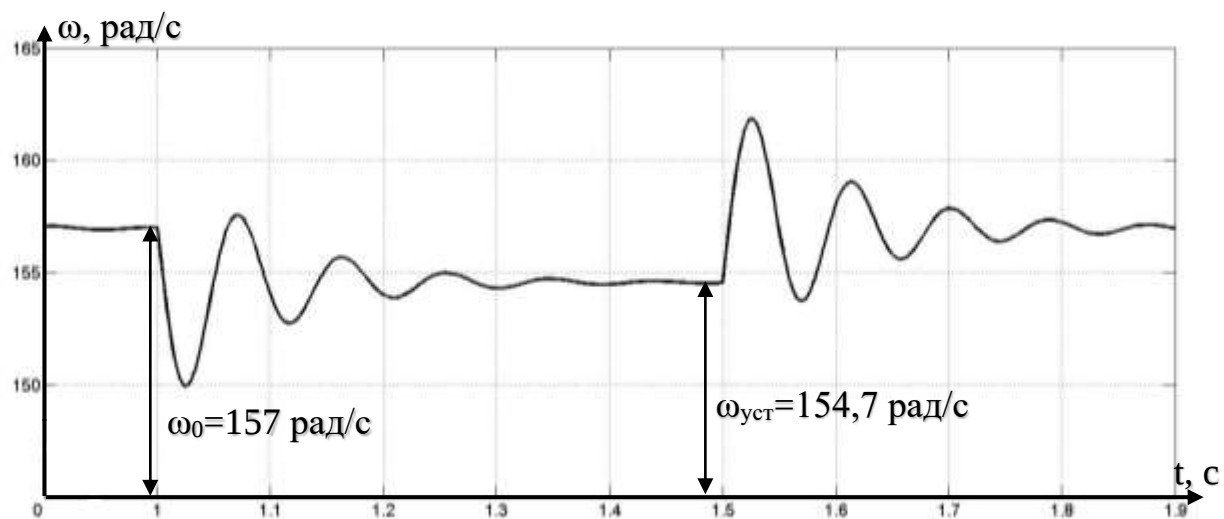


Рисунок 13 – Переходные процессы наброса и сброса нагрузки

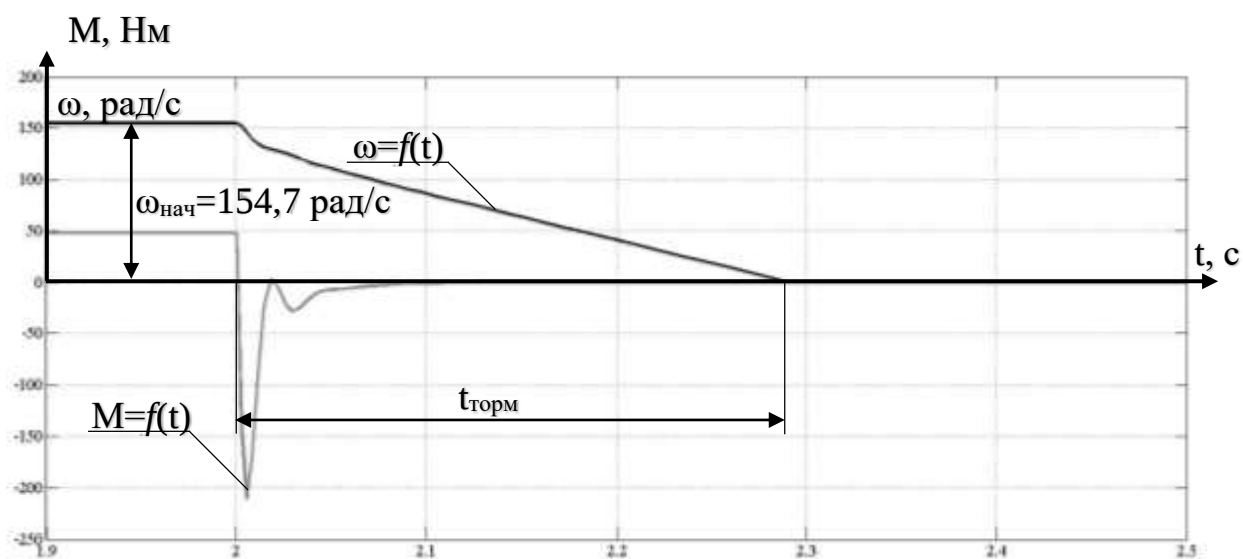


Рисунок 14 – Переходные процессы торможения

Как видно из результатов моделирования, установившаяся скорость при набросе нагрузки не равна рассчитанной (они отличаются друг от друга на 0,64 %). Это можно объяснить допущениями, принятыми при моделировании динамических процессов в асинхронном электродвигателе.

Моделирование при частотах в диапазоне регулирования проводится аналогично моделированию при номинальной частоте.

Результаты моделирования при различных частотах в пределах регулирования сводим в таблицу 12.

Таблица 12 – показатели качества динамических систем

| Показатель                            | Частота     |             |             |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                       | $f_1=50$ Гц | $f_2=35$ Гц | $f_3=13$ Гц |
| Время переходного процесса, с         | 0,5157      | 0,3496      | 0,1101      |
| Время достижения первого максимума, с | 0,4652      | 0,1454      | 0,0692      |
| Время торможения, с                   | 0,291       | 0,218       | 0,117       |
| Перерегулирование $\delta$ , %        | 6,16        | 11,49       | 17,15       |

Как видно из таблицы 12, время переходного процесса, а, значит, и время пуска электродвигателя уменьшается с уменьшением частоты. Время достижения первого максимума также прямо пропорционально частоте питающего напряжения. Торможение будет происходить быстрее с меньших скоростей, поэтому при уменьшении частоты также будет уменьшаться время торможения. Перерегулирование обратно пропорционально частоте питающего напряжения.

### Вывод

Посредством программной среды MATLAB Simulink были смоделированы переходные процессы пуска, наброса и сброса нагрузки, а также остановки двигателя, сняты показатели качества динамических систем.

#### 4. Социальная ответственность.

Безопасность жизнедеятельности - это система законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, призванная обеспечить безопасность человека, комфортное состояние рабочего места и защиту человека от различных опасностей в процессе труда. Безопасность включает в себя изучение влияния опасных и вредных факторов на организм человека, меры их профилактики и способы защиты от них.

В разделе «Социальная ответственность» анализируются вопросы охраны труда и техники безопасности, касающиеся работы в цеху, а также разрабатываются мероприятия по предупреждению воздействия опасных и вредных производственных факторов на здоровье работников предприятия, создание безопасных условий труда для обслуживающего персонала.

##### Описание рабочего места

В данном разделе будут рассмотрены вопросы по охране труда и техники безопасности, касаемые четырехстороннего станка Weinig U17A. Данный станок расположен в закрытой сухой деревообрабатывающей мастерской с хорошими условиями освещенности. Помимо рассматриваемого станка в мастерской также установлены девять различных деревообрабатывающих станков, где происходит обработка древесины. Мастерская оснащена системой вентиляции, также присутствует естественное освещение.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

##### 4.1. Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды

В процессе работы человек вступает во взаимодействие с предметами труда, орудиями труда, другими людьми. Также на него воздействуют параметры окружающей среды рабочей обстановки. От условий труда зависит

отношение человека к труду и, естественно, результаты труда. При плохих условиях труда резко снижается работоспособность, соответственно повышается процент профессиональных заболеваний и травм. Под условиями труда подразумеваются факторы производственной среды, оказывающие влияние на самочувствие персонала и его производительность в процессе труда.

**Вредный производственный фактор** — такой производственный фактор, воздействие которого на персонал может являться причиной заболевания. [10]

В мастерской, где находятся различные деревообрабатывающие электроустановки, на рабочих могут воздействовать следующие вредные факторы:

— Недостаточная освещенность;

Искусственное освещение как правило предусматривается в тех помещениях, в которых испытывается недостаток солнечного света, а также для освещения помещения в те часы, когда естественная освещенность отсутствует. По принципу организации искусственное освещение можно разделять на общее и комбинированное. Рекомендуется использовать общее локализованное освещение, так как требуется создать повышенную освещенность на рабочих местах, а работы не требуют высокой точности.

В качестве источников искусственного освещения рекомендуется применять дуговые ртутные лампы, которые обладают рядом преимуществ, например, высокой долговечностью, экономичностью, а также высокой светоотдачей по сравнению с лампами накаливания. [14]

Расчет искусственного освещения:

Размеры помещения:  $A=48$  м,  $B=20$  м,  $H=8$  м.

Расстояние между светильниками:

$$L_{\text{св}} = 0,7..1,2h$$

$$\text{где } h = H - h_p - h_c = 8 - 1 - 0,2 = 6,8 \text{ м}$$

$$L_{\text{св}} = 1 \cdot h = 6,8 \text{ м}$$

Определяем число рядов светильников:

$$n = \frac{B}{L_{\text{св}}} = \frac{20}{6,8} = 2,94$$

Выбираем 3 ряда светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{(A + B) \cdot h} = \frac{960}{(48 + 20) \cdot 6,8} = 2,07$$

Определяем коэффициент использования светового потока:

$$\eta = \frac{q_n + q_c + q_3}{3} = \frac{70\% + 50\% + 10\%}{3} = 43\%$$

Определяем число светильников в ряду:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{n \cdot F \cdot \eta \cdot \gamma} = \frac{150 \cdot 960 \cdot 1.15 \cdot 1.5}{3 \cdot 4960 \cdot 0.43 \cdot 1} = 38.82 \approx 39$$

где  $Z=1,15$ -коэффициент неравномерности освещения;

$\gamma=1$  – коэффициент затемнения;

$K=1,5$  – коэффициент запаса.

При длине одного светильника  $l_{\text{св}}=0,933$  м их суммарная длина составляет:

$$l_{\text{общ}} = N \cdot l_{\text{св}} = 39 \cdot 0.933 = 36.4 \text{ м}$$

Расстояние между двумя светильниками

$$l = \frac{A - l_{\text{общ}}}{N + 1} = \frac{48 - 36}{39 + 1} = 0,3 \text{ м}$$

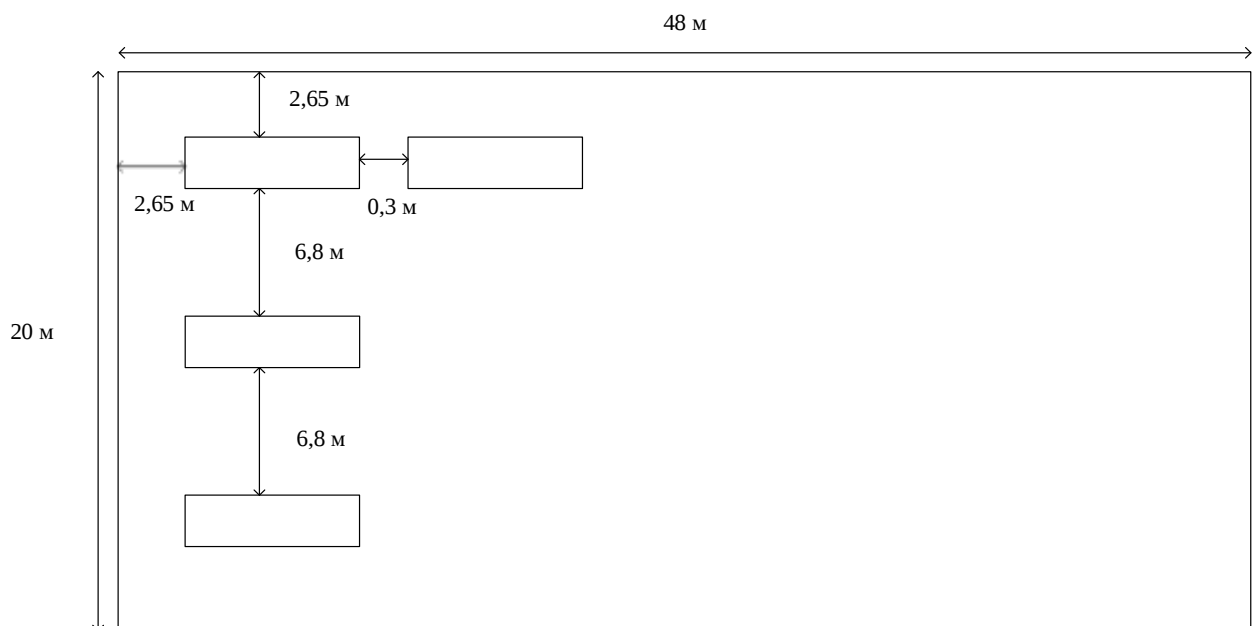


Рисунок 15 - План размещения светильников

— Повышенный уровень шума;

Длительное влияние шума на организм человека может привести к неизлечимому ухудшению слуха, а в отдельных случаях — к глухоте. Акустическое загрязнение рабочей среды может неблагоприятно воздействовать на персонал предприятия: может снизиться внимание, увеличиться расход энергии при неизменной физической нагрузке, замедлиться скорость реакции и т.п. В результате снижается производительность труда и качество выполняемой работы. Так как снизить уровень шума непосредственно от источников не представляется возможным, рекомендуется использовать средства индивидуальной защиты, например, беруши либо наушники. [13]

— Наличие в воздухе взвешенных частиц;

Помещение должно быть оборудовано вытяжным вентилятором, также рабочим необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты, например, респираторами. [15]

— Вибрация.

“Вибробезопасность труда на рабочем месте должна обеспечиваться:

- соблюдением правил и условий эксплуатации машин и введения технологических процессов, использованием машин только в соответствии с их назначением, предусмотренным НТД;
- поддержанием надлежащего технического состояния машин, параметров технологических процессов и элементов производственной среды на уровне, предусмотренном НТД, своевременным проведением планового и предупредительного ремонта машин;
- совершенствованием режимов работы машин и элементов производственной среды, исключением контакта работающих с вибрирующими поверхностями за пределами рабочего места или зоны, введением ограждений, предупреждающих знаков, использованием предупреждающих надписей, окраски, сигнализации, блокировки и т.п.;
- введением и соблюдением режимов труда и отдыха, в наибольшей мере снижающих неблагоприятное воздействие вибрации на человека;” [12]

При недостаточности этих мер рекомендуется использовать средства индивидуальной защиты, например, специальные перчатки.

#### 4.2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды

**Опасный производственный фактор** — это такой производственный фактор, действие которого на рабочий персонал может стать причиной травм (к таким факторам относятся высота, огонь, электрический ток, движущиеся предметы, взрыв). [10]

При обработке древесины возможны случаи поражения рабочего электрическим током, воспламенения обрабатываемых материалов, а также механического воздействия деревообрабатывающих станков на рабочего, в результате которых возможна потеря конечности.

К самостоятельной работе допускаются лица, прошедшие полный курс обучения теоретических знаний и практических навыков работы, медицинское освидетельствование, аттестацию квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте.

Первичный инструктаж рабочий получает на рабочем месте непосредственно перед началом производственной деятельности. Его производит мастер цеха. Повторный инструктаж рабочему необходимо проходить ежеквартально.

После проведения первичного инструктажа в течение нескольких смен рабочий должен выполнять работу под присмотром мастера цеха, после чего может встать вопрос об оформлении допуска к работе без наблюдения. Данный допуск регистрируется датой и подписью мастера цеха и рабочего в журнале инструктажа.

В процессе работы необходимо соблюдать:

Правила внутреннего распорядка предприятия, не допускать распития алкогольных напитков.

Правила личной гигиены (производить работу в специальной одежде,

обуви и других средствах индивидуальной защиты, осуществлять прием пищи только в отведённых для этих целей помещениях).

Курить разрешается только в специальных зонах.

Производственную и технологическую дисциплину, быть внимательным при выполнении работ, не отвлекаться на посторонние дела и не отвлекать сотрудников. Выполнять только ту работу, которую поручил мастером.

При получении травмы или недомогания нужно немедленно обратиться в медпункт и по возможности в течение суток сообщить мастеру или начальнику цеха. [11]

#### 4.3. Охрана окружающей среды

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. В последние годы во всем мире все с большей силой поднимается вопрос об охране окружающей среды.

Одна из самых серьезных проблем — потребление электроэнергии. С увеличением количества различных видов электрооборудования, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то, и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Люминесцентные лампы, которые рекомендуется применять в цеху для освещения, содержат от 3 до 5 мг ртути, относящейся к 1-му классу токсичных отходов, т.е. "чрезвычайно опасные". Учитывая это, лампы требуют определенных условий для хранения, эксплуатации и утилизации. Согласно санитарным нормам отходы, содержащие ртуть, должны временно храниться в герметичных емкостях или контейнерах в закрытых помещениях, исключающих доступ посторонних лиц. Их перевозка на полигоны складирования должна осуществляться специализированными лицензированными организациями. Размещение отходов на полигонах твердых бытовых отходов категорически

запрещается.

Рассматриваемый деревообрабатывающий станок работает на электрической энергии, а значит не загрязняет окружающую среду вредными выбросами.

#### 4.4. Защита в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при работе в деревообрабатывающей мастерской является возгорание на рабочем месте. Потенциальное возникновение пожара связано в первую очередь с возгоранием обрабатываемой древесины. Также возгорание может произойти по причине воспламенения взвешенных в воздухе частиц.

Для предотвращения опасности распространения пожара в цеху необходимо знать места расположения первичных средств пожаротушения и уметь пользоваться ими.

В случае возникновения пожара на рабочем месте, необходимо вызвать пожарную команду. До ее прибытия необходимо:

- Отключить напряжение питания.
- Постараться по возможности перекрыть доступ кислорода к огню (используя, например, асбестовые покрывала).
- Использовать первичные средства пожаротушения (огнетушители, пожарные краны, пожарный инвентарь).
- Провести эвакуацию персонала в безопасное место.

Для тушения пожаров классов А и Е, которые наиболее вероятны в рассматриваемом помещении, наиболее эффективным решением можно считать порошковые огнетушители (ОП), заряженные порошком типа АВСЕ. Также возможно применение хладоновых (ОХ) и углекислотных огнетушителей (ОУ), которые не оснащены металлическим диффузором для подачи углекислоты.

Возникновение других видов ЧС маловероятно, соответственно, рассмотрению эти ситуации не подлежат. [16, 17]

#### 4.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Предприятие при осуществлении всех видов деятельности признает приоритет жизни и здоровья работников по отношению к результатам производственной деятельности.

Основными целями предприятия в области охраны труда являются:

- Создание безопасных условий труда и сохранение жизни и здоровья работников;
- Обеспечение надежности работы опасных производственных объектов;
- Снижение риска аварий на опасных производственных объектах.

Цели достигаются путем предупреждения несчастных случаев, профессиональных заболеваний, аварий и инцидентов на основе:

- Идентификации опасностей;
- Оценки и управления производственными рисками;
- Проведения консультаций с работниками, их представителями и вовлечения их в систему управления охраной труда и промышленной безопасности.

#### Вывод

Были рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности, касающиеся работы в цеху, а также разработаны мероприятия по предупреждению воздействия опасных и вредных производственных факторов на здоровье работников предприятия.

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;

- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

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

### 5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

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

В данном случае сегментирования целесообразно провести по критерию точности, т.к. как для разных типов режимов работы, требуется разная скорость вращения пилы.

А также следует выделить сегменты рынка:

- по разработке, проектированию и производству;
- по установке и пуско-наладке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено в таблице 13.

Таблица 13 - Карта сегментирования рынка разработок для ЭП

|                                  | Электропривода<br>постоянного тока<br>по системе ТП-Д | Электропривода<br>переменного тока<br>по системе ПЧ-<br>АД | Электропривода<br>переменного тока<br>по системе АВК |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Проектирование и<br>производство |                                                       |                                                            |                                                      |
| Установка и пуско-<br>наладка    |                                                       |                                                            |                                                      |
| Обслуживание и<br>ремонт         |                                                       |                                                            |                                                      |
| <b>Фирма А</b>                   |                                                       | <b>Фирма Б</b>                                             |                                                      |

Результаты сегментирования:

- Основными сегментами рынка являются все виды деятельности для электроприводов постоянного тока по системе ТП-Д и асинхронных электроприводов с ПЧ-АД и АВК;
- Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой асинхронных электроприводов с преобразователем частоты (ПЧ)
- Наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой асинхронных электроприводов с ПЧ.

#### 5.1.2. Технология QuaD

**Технология *QuaD*** (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1) *Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:*

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) *Показатели оценки качества разработки:*

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;

- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

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

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (таблица 13).

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

Таблица 14 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки                                                     | Вес критерия | Баллы | Максимальный балл | Относительное значение (3/4) | Средневзвешенное значение (5x2)x100 |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|-------|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1                                                                   | 2            | 3     | 4                 | 5                            |                                     |
| <b>Показатели оценки качества разработки</b>                        |              |       |                   |                              |                                     |
| 1. Повышение производительности труда пользователя                  | 0,07         | 92    | 100               | 0,92                         | 6,44                                |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,12         | 85    | 100               | 0,85                         | 10,2                                |
| 3. Помехоустойчивость                                               | 0,03         | 94    | 100               | 0,94                         | 2,82                                |

Продолжение таблицы 14

|                                                              |          |     |     |      |              |
|--------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|------|--------------|
| 4. Энергоэкономичность                                       | 0,11     | 90  | 100 | 0,9  | 9,9          |
| 5. Надежность                                                | 0,06     | 94  | 100 | 0,94 | 5,64         |
| 6. Уровень шума                                              | 0,03     | 75  | 100 | 0,75 | 2,25         |
| 7. Безопасность                                              | 0,07     | 84  | 100 | 0,84 | 5,88         |
| 8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)     | 0,04     | 80  | 100 | 0,8  | 3,2          |
| 9. Простота эксплуатации                                     | 0,04     | 95  | 100 | 0,95 | 3,8          |
| 11. Качество интеллектуального интерфейса                    | 0,05     | 96  | 100 | 0,96 | 4,8          |
| 12. Возможность подключения в сеть ЭВМ                       | 0        | 100 | 100 | 1    | 0            |
| <b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b> |          |     |     |      |              |
| 1. Конкурентоспособность продукта                            | 0,04     | 90  | 100 | 0,9  | 3,6          |
| 2. Уровень проникновения на рынок                            | 0,04     | 70  | 100 | 0,7  | 2,8          |
| 3. Цена                                                      | 0,11     | 65  | 100 | 0,65 | 7,15         |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации                          | 0,07     | 95  | 100 | 0,95 | 6,65         |
| 5. Послепродажное обслуживание                               | 0,03     | 90  | 100 | 0,9  | 2,7          |
| 6. Финансирование научной разработки                         | 0,02     | 78  | 100 | 0,78 | 1,56         |
| 7. Срок выхода на рынок                                      | 0,03     | 71  | 100 | 0,71 | 2,13         |
| 8. Наличие сертификации разработки                           | 0,04     | 80  | 100 | 0,8  | 3,2          |
| <b>Итого</b>                                                 | <b>1</b> |     |     |      | <b>84,72</b> |

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,07 \cdot 92 + 0,12 \cdot 85 + \dots + 0,04 \cdot 80 = 84,72,$$

где  $P_{\text{ср}}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{\text{ср}}$  получилось равным 84,72, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

### 5.1.3. SWOT-анализ

**SWOT** – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

**Первый этап** заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

**1. Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?
- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

**2. Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с

конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

3. **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

- Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через три месяца. Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

- изменения в технологической сфере и на рынке – как мирового, так и регионального масштаба;

- изменения правительственной политики в отношении отрасли, где проводится научное исследование;

- изменения социальных стандартов, профиля населения, стиля жизни и т.д.

- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?
- Какие интересные тенденции отмечены?
- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

4. **Угроза** представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в

настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

- Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?
- Что делают конкуренты?
- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?
- Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?
- Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?
- Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представляем в табличной форме (таблица 14).

Таблица 15. Матрица SWOT

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Повышение производительности труда.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p> <p>С6. Высокий срок эксплуатации.</p> <p>С7. Надежность данной системы по сравнению с другими.</p> <p>С8. Высокое качество продукции.</p> | <p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл2. Большой срок выхода на рынок</p> <p>Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения</p> |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Продолжение таблицы 15

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| <p><b>Возможности:</b><br/> В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ<br/> В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт<br/> В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях<br/> В4. Повышение стоимости конкурентных разработок<br/> В5. Развитие технологий в данной отрасли</p> |  |  |
| <p><b>Угрозы:</b><br/> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.<br/> У2. Развитая конкуренция технологий производства<br/> У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции<br/> У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.<br/> У5. Появление новых конкурентных разработок.</p>      |  |  |

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз должно происходить на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

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

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

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученная интерактивная матрицы проекта представлена в таблице 15.

Таблица 16 - Интерактивная матрица проекта

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта     |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|                         | B1 | 0  | +  | 0  | +  | 0  | 0  | +  | +  |
|                         | B2 | +  | +  | +  | +  | -  | +  | +  | +  |
|                         | B3 | +  | 0  | +  | +  | -  | 0  | 0  | 0  |
|                         | B4 | 0  | -  | -  | 0  | 0  | +  | +  | +  |
|                         | B5 | +  | 0  | 0  | +  | +  | +  | +  | +  |

Результаты анализа таблицы:

B1B2C2C4C7C8

B2C1C3C6

B3C1C3C4

B4C6C7C8

B5C1C4C5C6C7C8

Продолжение таблицы 16

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта    |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
|                        | B1 | -   | -   | -   |
|                        | B2 | -   | -   | -   |
|                        | B3 | -   | -   | -   |
|                        | B4 | -   | -   | 0   |
|                        | B5 | +   | 0   | +   |

Результаты анализа таблицы:

B5Сл1Сл3

Продолжение таблицы 16

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Угрозы                  |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 |
|                         | У1 | -  | -  | -  | -  | +  | -  | -  | -  | -  |
|                         | У2 | 0  | 0  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | +  |
|                         | У3 | +  | 0  | +  | +  | -  | +  | 0  | 0  | 0  |
|                         | У4 | -  | -  | -  | 0  | -  | -  | -  | -  | -  |
|                         | У5 | 0  | -  | -  | -  | +  | -  | -  | -  | -  |

Результаты анализа таблицы:

У1С5

У3С1С3С4С6

У2С9

У5С5

Окончание таблицы 16

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|
| Угрозы                 |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
|                        | У1 | +   | 0   | 0   |
|                        | У2 | -   | 0   | +   |
|                        | У3 | +   | +   | +   |
|                        | У4 | +   | -   | +   |
|                        | У5 | +   | 0   | +   |

Результаты анализа таблицы:

У1Сл1

У2Сл3

У3Сл1Сл2Сл3

У4У5Сл1Сл3

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 17).

Таблица 17. Итоговая матрица SWOT-анализа

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.<br>С2. Экологичность технологии.<br>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.<br>С4.Повышение производительности труда.<br>С5. Квалифицированный персонал.<br>... | <b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой<br>Сл2. Большой срок выхода на рынок<br>Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения |
| <b>Возможности:</b><br>В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ<br>В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт<br>В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях<br>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок<br>В5. Развитие технологий в данной отрасли | В1В2С2С4С7С8<br>В2С1С3С6<br>В3С1С3С4<br>В4С6С7С8<br>В5С1С4С5С6С7С8                                                                                                                                                                                                                                                               | В5Сл1Сл3                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.<br>У2. Развитая конкуренция технологий производства<br>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции<br>У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.<br>У5. Появление новых конкурентных разработок.      | У1С5<br>У3С1С3С4С6<br>У2С9<br>У5С5                                                                                                                                                                                                                                                                                               | У1Сл1<br>У2Сл3<br>У3Сл1Сл2Сл3<br>У4У5Сл1Сл3                                                                                                                                                                                                                             |

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

## 5.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

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

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

### 5.3. Планирование научно-исследовательских работ

#### 5.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 18.

Таблица 18 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                  | № раб | Содержание работ                               | Должность исполнителя |
|---------------------------------|-------|------------------------------------------------|-----------------------|
| Разработка технического задания | 1     | Составление и утверждение технического задания | Руководитель темы     |
| Выбор направления исследований  | 2     | Подбор и изучение материалов по теме           | Инженер               |
|                                 | 3     | Описание объекта                               | Инженер               |
|                                 | 4     | Календарное планирование работ по теме         | Руководитель          |

Продолжение таблицы 18.

|                                                |    |                                                                                |              |
|------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Теоретические и экспериментальные исследования | 5  | Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП                               | Инженер      |
|                                                | 6  | Расчет параметров двигателя и модели                                           | Инженер      |
|                                                | 7  | Выбор способа регулирования скорости                                           | Инженер      |
|                                                | 8  | Расчет регулировочных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель» | Инженер      |
|                                                | 9  | Разработка математической модели системы электропривода                        | Инженер      |
|                                                | 10 | Оптимизация системы регулирования электропривода                               | Инженер      |
|                                                | 11 | Разработка программы имитационного моделирования                               | Инженер      |
| Обобщение и оценка результатов                 | 12 | Оценка эффективности полученных результатов                                    | Руководитель |

5.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Окончание таблицы 18.

| Проведение ОКР                                       |    |                                                                              |         |
|------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Разработка технической документации и проектирование | 13 | Технико-экономические расчеты                                                | Инженер |
|                                                      | 14 | Вопросы безопасности и экологичности проекта                                 | Инженер |
|                                                      | 15 | Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации) | Инженер |

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

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

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

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

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

### 5.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

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

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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

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

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

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

Все рассчитанные значения сводим в таблицу (табл. 7).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

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

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

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

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

Таблица 19 - Временные показатели проведения научного исследования

| Название<br>работы                                                             | Трудоёмкость работ     |         |                        |         |                        |         | Длительность<br>работ в<br>рабочих днях<br>$T_{pi}$ |         | Длительность<br>работ в<br>календарных<br>днях<br>$T_{ki}$ |         |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------|---------|
|                                                                                | $t_{min}$ ,<br>чел-дни |         | $t_{max}$ ,<br>чел-дни |         | $t_{ожi}$ ,<br>чел-дни |         |                                                     |         |                                                            |         |
|                                                                                | Руководитель           | Инженер | Руководитель           | Инженер | Руководитель           | Инженер | Руководитель                                        | Инженер | Руководитель                                               | Инженер |
| Составление и утверждение технического задания                                 | 1                      |         | 2                      |         | 2                      |         | 2                                                   |         | 4                                                          |         |
| Подбор и изучение материалов по теме                                           |                        | 5       |                        | 8       |                        | 7       |                                                     | 7       |                                                            | 11      |
| Описание объекта                                                               |                        | 3       |                        | 4       |                        | 4       |                                                     | 4       |                                                            | 7       |
| Календарное планирование работ по теме                                         | 3                      |         | 5                      |         | 4                      |         | 4                                                   |         | 7                                                          |         |
| Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП                               |                        | 4       |                        | 9       |                        | 6       |                                                     | 6       |                                                            | 10      |
| Расчет параметров двигателя и модели                                           |                        | 4       |                        | 6       |                        | 5       |                                                     | 5       |                                                            | 8       |
| Выбор способа регулирования скорости                                           |                        | 2       |                        | 4       |                        | 8       |                                                     | 8       |                                                            | 12      |
| Расчет регулировочных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель» |                        | 2       |                        | 4       |                        | 3       |                                                     | 3       |                                                            | 5       |
| Разработка математической модели системы ЭП                                    | 3                      |         | 6                      |         | 5                      |         | 5                                                   |         | 8                                                          |         |
| Оптимизация системы регулирования электропривода                               |                        | 4       |                        | 8       |                        | 6       |                                                     | 6       |                                                            | 10      |
| Разработка программы имитационного моделирования                               |                        | 5       |                        | 8       |                        | 7       |                                                     | 7       |                                                            | 11      |
| Оценка эффективности полученных результатов                                    | 2                      |         | 3                      |         | 3                      |         | 3                                                   |         | 5                                                          |         |
| Технико-экономические расчеты                                                  |                        | 3       |                        | 7       |                        | 5       |                                                     | 5       |                                                            | 8       |
| Вопросы безопасности и экологичности проекта                                   |                        | 3       |                        | 7       |                        | 5       |                                                     | 5       |                                                            | 8       |
| Составление пояснительной записки                                              |                        | 1       |                        | 3       |                        | 2       |                                                     | 2       |                                                            | 4       |

На основе таблицы 20 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 20 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

| № ра<br>бот | Вид работ                                                 | Исполни<br>тели | T <sub>кi</sub> ,<br>кал.<br>дн. | Продолжительность выполнения работ |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |
|-------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|--|
|             |                                                           |                 |                                  | фев.                               |   | март |   |   | апрель |   |   | май |   |   | июнь |   |  |
|             |                                                           |                 |                                  | 2                                  | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1    | 2 |  |
| 1           | Составление и утверждение технического задания            | Руководитель    | 4                                |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 2           | Подбор и изучение материалов по теме                      | Инженер         | 11                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 3           | Описание объекта автоматизации (модернизации)             | Инженер         | 7                                |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 4           | Календарное планирование работ по теме                    | Руководитель    | 7                                |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 5           | Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП          | Инженер         | 10                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 6           | Расчет параметров двигателя и модели                      | Инженер         | 8                                |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 7           | Выбор способа регулирования скорости                      | Инженер         | 12                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 8           | Расчет предельных характ. системы «преобр.– электродвиг.» | Инженер         | 5                                |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 9           | Разработка математической модели системы АУ ЭП            | Руководитель    | 3                                |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 10          | Оптимизация САР электропривода                            | Инженер         | 10                               |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |   |  |

## Продолжение таблицы 20

[illegible]

#### 5.3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;

- накладные расходы.

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

#### Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 21.

Таблица 21 - Расчет основной заработной платы

| № п/п | Наименование этапов                              | Исполнители по категориям | Трудо-емкость, чел.-дн. | Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб. | Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб. |
|-------|--------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1     | Составление и утверждение технического задания   | Руководитель              | 4                       | 2351                                                       | 9404                                                  |
| 2     | Подбор и изучение материалов по теме             | Инженер                   | 11                      | 1523                                                       | 16753                                                 |
| 3     | Описание объекта автоматизации (модернизации)    | Инженер                   | 7                       | 1523                                                       | 10661                                                 |
| 4     | Календарное планирование работ по теме           | Руководитель              | 7                       | 2351                                                       | 16457                                                 |
| 5     | Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП | Инженер                   | 10                      | 1523                                                       | 15230                                                 |
| 6     | Расчет параметров двигателя и модели             | Инженер                   | 8                       | 1523                                                       | 12184                                                 |
| 7     | Выбор способа регулирования                      | Инженер                   | 12                      | 1523                                                       | 18276                                                 |

Продолжение таблицы 21

|        |                                                           |              |    |      |        |
|--------|-----------------------------------------------------------|--------------|----|------|--------|
| 8      | Расчет предельных характ. системы «преобр.– электродвиг.» | Инженер      | 5  | 1523 | 7615   |
| 9      | Разработка математической модели системы АУ ЭП            | Руководитель | 3  | 2351 | 7053   |
| 10     | Оптимизация САР электропривода                            | Инженер      | 10 | 1523 | 15230  |
| 11     | Разработка программы имитационного моделирования          | Инженер      | 11 | 1523 | 16753  |
| 12     | Оценка эффективности полученных результатов               | Руководитель | 2  | 2351 | 4702   |
| 13     | Технико-экономические расчеты                             | Инженер      | 8  | 1523 | 12184  |
| 14     | Вопросы безопасности и экологичности проекта              | Инженер      | 8  | 1523 | 12184  |
| 15     | Составление пояснительной записки                         | Инженер      | 4  | 1523 | 6092   |
| Итого: |                                                           |              |    |      | 180778 |

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

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}},$$

где  $З_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

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

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

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где  $З_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{53594 \cdot 10,4}{237} = 2351 \text{ руб.},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 22).

Таблица 22 - Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб}$$

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

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

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

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

Тарифная заработная плата  $Z_{ТС}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_t$  и

учитывается по единой для бюджетных организаций тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 23.

Таблица 23 - Расчёт основной заработной платы

| Исполнители            | З <sub>тс</sub> ,<br>руб. | k <sub>пр</sub> | k <sub>д</sub> | k <sub>р</sub> | З <sub>м</sub> ,<br>руб | З <sub>дн</sub> ,<br>руб. | Т <sub>р</sub> ,<br>раб.<br>дн. | З <sub>осн</sub> ,<br>руб. |
|------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Руководитель           | 27484                     | 0,3             | 0,2            | 1,3            | 53594                   | 2351                      | 16                              | 37616                      |
| Инженер                | 17808                     | 0,3             | 0,2            | 1,3            | 34725                   | 1523                      | 95                              | 144685                     |
| Итого З <sub>осн</sub> |                           |                 |                |                |                         |                           |                                 | 182301                     |

#### Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,12 \cdot 37616 = 4514 \text{ руб}$$

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

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

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,271 \cdot (37616 + 4514) = 11417 \text{ руб}$$

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

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (таблица 24).

Таблица 24 - Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель                                  | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|----------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Руководитель проекта                         | 37616                           | 4514                                  |
| Студент-дипломник                            | 144685                          | 17362                                 |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | 0,271                           |                                       |
| Итого                                        |                                 |                                       |
| Руководитель                                 | 11417                           |                                       |
| Инженер                                      | 43914                           |                                       |

### Накладные расходы

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

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр} = (З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) \cdot 0,16 = \\ = (182301 + 21876 + 55331) = 41521$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 25.

Таблица 25 - Расчет бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи                                             | Сумма, руб. | %                 |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|
| 1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 182301      | Пункт             |
| 2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 21876       | Пункт             |
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды                             | 55631       | Пункт             |
| 4. Накладные расходы                                            | 41521       | 16 % от суммы ст. |
| 5. Бюджет затрат НТИ                                            | 301329      | Сумма ст.         |

#### 5.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

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

где:

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводим в виде табличной формы.

Таблица 26 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

| Вариант схемы | $\Phi_{\max}$ , руб. | $\Phi_{pi}$ , руб. | $I_{\text{исп.}i}^{\text{фин}}$ , о.е. |
|---------------|----------------------|--------------------|----------------------------------------|
| 1             | 461500               | 338200             | 0,73                                   |
| 2             |                      | 384600             | 0,83                                   |
| 3             |                      | 461500             | 1                                      |

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 (асинхронный электропривод с преобразователем частоты) отражает соответствующее численное увеличение стоимости электропривода при одинаковой мощности. Схема 2 имеет средний интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и, следовательно, вариант схемы стоит на втором месте по финансовой эффективности.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 2 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

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

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии                   | Весовой коэффициент | Электропривод постоянного тока по системе ТП-Д | Асинхронный электропривод по системе ПЧ-АД | Асинхронный электропривод по системе АВК |
|----------------------------|---------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1. Безопасность            | 0,25                | 5                                              | 5                                          | 5                                        |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,10                | 5                                              | 5                                          | 5                                        |
| 3. Помехоустойчивость      | 0,10                | 4                                              | 4                                          | 4                                        |
| 4. Энергосбережение        | 0,15                | 4                                              | 4                                          | 5                                        |
| 5. Надёжность              | 0,25                | 5                                              | 5                                          | 4                                        |
| 6. Материалоёмкость        | 0,15                | 4                                              | 4                                          | 5                                        |
| Итого:                     | 1,00                | 4,5                                            | 4,5                                        | 4,6                                      |

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

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

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

### Вывод

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими перспективами, был произведен SWOT-анализ, планирование, которое ограничило выполнение работы в 111 дней. Также был посчитан бюджет НИИ равный 301329 руб., основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

## Заключение

В представленной выпускной квалификационной работе был рассчитан и спроектирован регулируемый электропривод четырехстороннего деревообрабатывающего станка с системой «преобразователь частоты – асинхронный двигатель».

Основываясь на заданных параметрах мощности, был выбран электродвигатель АИР160М2, затем были рассчитаны параметры Т-образной схемы замещения двигателя. Были построены естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя, также были построены регулировочные механические и электромеханические характеристики для двух значений частоты питающего напряжения в пределах регулирования. После построения регулировочных характеристик возникла необходимость в проведении IR-компенсации; в результате ее проведения условие  $M_{эм2} \geq 1,5 \cdot M_{ов.н}$  выполнялось для всех частот в пределах регулирования.

В дальнейшем были рассчитаны параметры, необходимые для построения структурной схемы, которая была построена в программной среде MATLAB Simulink 2008b. В процессе моделирования были сняты переходные процессы пуска, сброса и наброса нагрузки, а также остановки двигателя при различных частотах в пределах регулирования. Было произведено сравнение показателей качества динамической системы при частотах питающего напряжения 50, 35 и 13 Гц.

Были рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности, касающиеся работы в цеху, произведен расчет искусственного освещения, а также доказана конкурентоспособность технического решения.

## Список использованных источников

1. Дементьев Ю.Н, Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие.- Томск: Изд-во ТПУ, 2008. -224 с.
2. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
3. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А.Электропривод переменного тока: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 219 с.
4. Петрович В.П. Силовые преобразователи электрической энергии: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 254 с.
5. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов / В. П. Шеховцов. – М. : ФОРУМ, 2010. – 352 с.
6. Проектирование электрических машин: Учебник для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; под редакцией И.П. Копылов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2002. – 757 с.:
7. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
8. Мальцева О.П., Кояин Н.В., Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.
9. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 476 с.
10. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

11. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда
12. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования
13. СНиП П-12-77. Защита от шума
14. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
15. СНиП 2.04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование
16. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92)
17. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003
18. Описание IGBT-транзистора IRGP50B60PD [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irgp50b60pd.pdf> - 16.03.2016 г.
19. Описание и технические характеристики асинхронного электродвигателя АИР160М2 [Электронный ресурс] : Режим доступа: [http://electronpo.ru/dvigatel\\_air160m](http://electronpo.ru/dvigatel_air160m) - 24.03.2016 г.
20. Описание и технические характеристики преобразователя частоты Siemens Sinamics G120P-18.5/35B [Электронный ресурс] : Режим доступа: [http://www.theservice.ru/chastotnyy-preobrazovatel-siemens-sinamics-g120p-model-g120p-18\\_535b.html](http://www.theservice.ru/chastotnyy-preobrazovatel-siemens-sinamics-g120p-model-g120p-18_535b.html) - 26.03.2016 г.
21. Описание и технические характеристики реле максимального тока РТ140-200 [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.cheaz.ru/ru/production/ustroystva-releynoy-zashchity/rele-maksimalnogo-toka-rt-40-140> - 11.04.2016 г.
22. Описание и технические характеристики автоматических выключателей серии ВА13 [Электронный ресурс] : Режим доступа:

<http://www.elektrosnab.su/upload/iblock/43c/43c58392827f0789fdbcde1b25446516.pdf> – 16.04.2016 г.

23. Деревообрабатывающие станки и оборудование [Электронный ресурс] : Режим доступа: [http://www.globaledge.ru/ru/equipment/derevoobrabatyvayushhee\\_oborudovanie\\_i\\_derevoobrabatyvayushhie\\_stanki/](http://www.globaledge.ru/ru/equipment/derevoobrabatyvayushhee_oborudovanie_i_derevoobrabatyvayushhie_stanki/) - 15.03.2016 г.

24. Однокопылов И.Г. Теория электропривода. Лабораторный практикум/ И.Г. Однокопылов, Ю.Н. Дементьев, С.М. Семенов; Учебн.посо. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 207 с.

25. Терёхин В. Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В. Б. Терёхин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.