

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

---

Институт Электронного Обучения  
Специальность 13.03.02 Электромеханика  
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------|
| Проектирование кранового двухскоростного асинхронного двигателя с фазным ротором |

УДК 621.313.333.1-8:621.873.001.63

Студент

| Группа  | ФИО                               | Подпись | Дата |
|---------|-----------------------------------|---------|------|
| 3-5Г2Э1 | Абдурашидов Озоджон Абдувоит угли |         |      |

Руководитель

| Должность | ФИО                          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент | Падалко Дмитрий<br>Андреевич | к.т.н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                     | ФИО                            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры<br>менеджмента | Фигурко Аркадий<br>Альбертович | к.э.н.<br>доцент          |         |      |

По разделу «Технологический часть»

| Должность | ФИО                          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Баранов Павел<br>Рудольфович | к.т.н.                    |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность     | ФИО                        | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Преподаватель | Король Ирина<br>Степановна | к.х.н.                    |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой | ФИО                               | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|-----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| ЭКМ           | Гарганеев Александр<br>Георгиевич | д.т.н.                    |         |      |

Томск – 2017 г.

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

Институт \_\_\_\_\_ Энергетический институт  
Направление подготовки специальность \_\_\_\_\_ «Электромеханика»  
Кафедра \_\_\_\_\_ «Электромеханические комплексы и материалы»

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Гарганеев А.Г.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**  
В форме:

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

Студент:

| Группа  | ФИО                             |
|---------|---------------------------------|
| 3-5Г2Э1 | АбдурашидовОзоджонАбдувоит Угли |

Тема работы:

|                                                                                  |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Проектирование кранового двухскоростного асинхронного двигателя с фазным ротором |                     |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                                      | 28.12.2016 №10939/с |

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 1.06.2017 |
|------------------------------------------|-----------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к работе</b><br>(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.). | Асинхронный двигатель с фазным ротором:<br>Номинальная мощность $P_{2н}=5000$ Вт;<br>Число фаз статора $m=3$ ;<br>Номинальное напряжение $U_n=220/380$ В;<br>Число полюсов $2p=6$ ;<br>Высота оси вращения $h = 132$ мм;<br>Частота сети равна $= 50$ Гц;<br>Степень защиты IP44;<br>Способ монтажа IM1081;<br>Система охлаждения IC0141. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (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).</p>                                                                                                                                                                     | <p>Спроектировать двухскоростной асинхронный двигатель с фазным ротором мощностью 5кВт и оценить его рабочие и временные характеристики используя современные пакеты прикладных программ.</p> |
| <p><b>Перечень графического материала</b><br/>(с точным указанием обязательных чертежей)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сборочный чертеж двигателя.</li> <li>2. Обмотка статора</li> <li>3. Паз статора</li> <li>4. Паз ротора</li> </ol>                                   |
| <p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                               |
| <p><b>Раздел</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p><b>Консультант</b></p>                                                                                                                                                                     |
| <p>Электромагнитный расчет, тепловой и механический расчеты. Специальная часть.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Падалко Д.А.</p>                                                                                                                                                                           |
| <p>Технологическая часть</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>Баранов П.Р.</p>                                                                                                                                                                           |
| <p>Социальная ответственность</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>Король И.С</p>                                                                                                                                                                             |
| <p>Экономическая часть</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>Фигурко А.А.</p>                                                                                                                                                                           |
| <p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературный обзор.</li> <li>2. Электромагнитный расчет.</li> <li>3. Тепловой и вентиляционный расчет.</li> <li>4. Механический расчет и динамических параметров.</li> <li>5. Технологическая часть.</li> <li>6. Специальная часть.</li> <li>7. Техничко-экономическая часть.</li> <li>8. Вопросы охраны труда и безопасности жизнедеятельности.</li> <li>9. Заключение.</li> </ol> |                                                                                                                                                                                               |

|                                                                                          |                                 |                |         |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|---------|------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику |                                 |                |         | 20.12.2016 |
| Задание выдал руководитель:                                                              |                                 |                |         |            |
| Должность                                                                                | ФИО                             | Ученая степень | Подпись | Дата       |
| Ассистент                                                                                | Падалко Дмитрий Андреевич       |                |         |            |
| Задание принял к исполнению студент:                                                     |                                 |                |         |            |
| Группа                                                                                   | ФИО                             | Подпись        | Дата    |            |
| 3-5Г2Э1                                                                                  | АбдурашидовОзоджонАбдувоит Угли |                |         |            |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА ПО ТЕМЕ:  
«ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН»**

Студенту:

| Группа  | ФИО                               |
|---------|-----------------------------------|
| З-5Г2Э1 | Абдурашидов Озоджон Абдувоит угли |

| Институт            | ИнЭО     | Кафедра                   | ЭКМ                                            |
|---------------------|----------|---------------------------|------------------------------------------------|
| Уровень образования | Бакалавр | Направление/специальность | 14.03.02<br>Электроэнергетика и электротехника |

**Исходные данные к разделу «Технологический процесс сборки статора асинхронного двигателя»**

1. Сборочный чертеж статора асинхронного двигателя, спецификация;

2. Годовая программа выпуска изделия 6700 штук

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

1. Анализ конструкции статора машины на технологичность

2. Расчет усилия запрессовки сердечника статора в станину асинхронного двигателя

3. Выбрать оборудование, приспособления для запрессовки, сборки, мех обработки статора электрической машины

4. Разработать маршрутную технологию сборки электрической машины

5. Определить нормы времени на операции и оборудование

6. Построить график загрузки оборудования

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

1. Комплект маршрутных карт и карты эскизов (в приложении)

2. График загрузки оборудования

3. Схема сборки электрической машины

|                                                             |                 |
|-------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | <b>15.09.16</b> |
|-------------------------------------------------------------|-----------------|

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата     |
|-----------|--------------|------------------------|---------|----------|
| доцент    | Баранов П.Р. | к.т.н., доцент         |         | 10.02.17 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа  | ФИО             | Подпись | Дата |
|---------|-----------------|---------|------|
| З-5Г2Э1 | Абдурашидов О.А |         |      |

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

Студенту:

|               |                  |
|---------------|------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>       |
| 3-5Г2Э1       | Абдурашидов О.А. |

|                     |             |                           |                                    |
|---------------------|-------------|---------------------------|------------------------------------|
| <b>Институт</b>     | <b>ИнЭО</b> | <b>Кафедра</b>            | <b>ЭКМ</b>                         |
| Уровень образования | Бакалавр    | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника |

|                                                                                                     |                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b> |                                                                                                                            |
| 1. <i>Стоимость ресурсов:</i>                                                                       | <i>Стоимость материалов, технического оборудования, информационных и человеческих ресурсов</i>                             |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>                                                   | <i>ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</i> |
| 3. <i>Используемая система налогообложения</i>                                                      | <i>Отчисления внебюджетных страховых фонды (30,2% от заработной платы)</i>                                                 |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>                     |                                                                                                                            |
| 1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>                                   | <i>Определение конкурентоспособности проекта, анализ рынка продукта</i>                                                    |
| 2. <i>Оценка целесообразности производства асинхронный двигатель с фазным ротором</i>               | <i>Определение себестоимости, рентабельности и критического объема продукции</i>                                           |
| 3. <i>Оценка ресурсной эффективности продукции</i>                                                  | <i>Расчет экономии электроэнергии при эксплуатации</i>                                                                     |
| <b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)                   |                                                                                                                            |
| 1. <i>График безубыточности для данного вида продукции.</i>                                         |                                                                                                                            |

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

**Задание выдал консультант:**

|                            |              |                               |                |             |
|----------------------------|--------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b>           | <b>ФИО</b>   | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент кафедры менеджмента | Фигурко А.А. | К.Э.Н., доцент                |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                  |                |             |
|---------------|------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>       | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 3-5Г2Э1       | Абдурашидов О.А. |                |             |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

| Группа  | ФИО                                 |
|---------|-------------------------------------|
| 3-5Г2Э1 | Абдурашидову Озоджону Абдувоит Угли |

Студенту:

| Институт                   | ИнЭО     | Кафедра                          | ЭКМ                                                                  |
|----------------------------|----------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Уровень образования</b> | Бакалавр | <b>Направление/специальность</b> | 13.03.02.<br>Электроэнергетика<br>Электротехника/<br>электромеханика |

| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p><i>Проектирование кранового двухскоростного асинхронного двигателя с фазным ротором.</i><br/> <b>ФГУП</b><br/> <i>«Томский электротехнический завод»</i><br/> <i>Область применения: Электромоторных участка на предприятиях по заказная.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <p><b>1. Производственная безопасность</b><br/> <b>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p><b>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</b></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><b>1.1 Анализ вредных факторов:</b></p> <p>«Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».ГОСТ РФ 12.0.003-74(1999г)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение показателей микроклимата (оптимальные величины показателей микроклимата);ГОСТ РФ 30494—2011г</li> <li>– повышенный уровень шума на рабочем месте СН2.2.4/2.1.8.562-96«Шум. Общие требования безопасности» (80дБА);применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-87.противошумные наушники.</li> <li>– повышенный уровень вибрации ГОСТ 31192 – 2004 ССБТ виброзащитных рукавицГОСТ 12.4.002— 74 виброзащитной обувиГОСТ 12.4.024— 76 «Вибрационная безопасность. Общие требования», СанПиН РФ 2.2.2.540-96. Санитарные нормы общей и локальной вибрации на рабочих местах (7дБ);ГОСТ - 17187</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны. СанПин РФ №23-05-95 Расчет искусственного освещения ГОСТ 21.608искусственного освещения территорий промышленных предприятий ГОСТ 21.607.</li> </ul> <p><b>1.2 Анализ опасных факторов:</b>ГОСТ 12.0.003-74. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, напряжение прикосновение и тока; ГОСТ 12.1.030-82 (1997г.)</li> </ul> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– применение средств индивидуальной защиты (ГОСТ 12.74.011-89) средства защиты ногГОСТ Р 532652009 средства защиты рукГОСТ 12.4.252-2013</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>2. Экологическая безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul> | <p><i>Не несет опасных и вредных воздействий на атмосферу, гидросферу и литосферу.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Создание и обустройство санитарно-защитной зоны предприятия. ГОСТ Р 52985-2008</li> <li>– Основными источниками загрязнения могут быть отходы (осадок, мусор), образовавшиеся в процессе очистки сточной воды. Переход к безотходным и малоотходным технологиям, разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы, уменьшит загрязнения окружающей среды.</li> </ul>   |
| <b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Возможные ЧС на объекте: - производственные аварии и пожарыППБ-79;</li> <li>– Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС: в помещений где идет обслуживания и эксплуатация оборудования установлены огнетушители типа ОУ-5, ОП-5 а так же звуковая и световая сигнализация (ГОСТ 2853а-2014)</li> </ul>                                                                                                                                                                                         |
| <b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> <li>– Рабочее место слесаря .</li> </ul>                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Трудовой кодекс РФ 2016-2017. Гл.1 статья 5. Гл.2 статья и статья 189. «Случаи предоставления гарантий и компенсации».</li> <li>– Правило внутреннего трудового распорядка <b>ФГУП «Томский электротехнический завод»</b></li> <li>– Безопасности на рабочих местах.</li> <li>– Организационные мероприятий при компоновке рабочей зоны (ГОСТ 12.02.032.78 работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающегокатегории работ - по ГОСТ 12.1.005-88.</li> </ul> |

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

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО                     | Ученая степень, звание   | Подпись | Дата |
|-----------|-------------------------|--------------------------|---------|------|
| Доцент    | Король Ирина Степановна | Кандидат химических наук |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа  | ФИО                               | Подпись | Дата |
|---------|-----------------------------------|---------|------|
| 3-5Г2Э1 | АбдурашидовуОзоджонуАбдувоит Угли |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 108 страниц, 20 рисунков, 18 таблиц, 29 источников, 4 приложений, 1 графического материала.

ДВИГАТЕЛЬ АСИНХРОННЫЙ, РОТОР ФАЗНЫЙ, РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, КЛАСС НАГРЕВОСТОЙКОСТИ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, СХЕМА СБОРКИ, ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ, МАРШРУТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, ЗАГРУЗКА ОБОРУДОВАНИЯ, НОРМИРОВАНИЕ.

Объектом проектирования является крановый двухскоростной асинхронный двигатель с фазным ротором.

В процессе работы разработан крановый асинхронный двигатель с фазным ротором, а именно: рассчитаны главные размеры, спроектированы обмотки статора и ротора, выбраны обмоточные провода, изоляция, рассчитаны рабочие и пусковые характеристики, произведен механический расчет вала и тепловой расчет двигателя. Проведен расчет пусковых добавочных сопротивлений, спроектированного АД и построена пусковая диаграмма. Разработан комплект документов на общую сборку электродвигателя, рассчитана себестоимость проекта и рассмотрены вопросы социальной ответственности.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 и представлена на бумаге формата А4.

## Содержание

|                                                                                | стр |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение.....                                                                  | 13  |
| 1. Электромагнитный расчет.....                                                | 15  |
| 1.1 Выбор главных размеров.....                                                | 15  |
| 1.2 Расчет обмотки статора.....                                                | 16  |
| 1.2.1 Расчёт размеров зубцовой зоны статора.....                               | 19  |
| 1.3 Расчёт ротора.....                                                         | 21  |
| 1.3.1 Расчет размеров зубцовой зоны ротора.....                                | 23  |
| 1.4 Расчет магнитной цепи.....                                                 | 25  |
| 1.5 Параметры рабочего режима.....                                             | 28  |
| 1.5.1 Активные сопротивления обмоток статора.....                              | 29  |
| 1.5.2 Индуктивные сопротивления обмоток статора.....                           | 31  |
| 1.6 Расчет потерь.....                                                         | 33  |
| 1.7 Расчет рабочих характеристик.....                                          | 36  |
| 1.8 Расчет пусковых характеристик.....                                         | 39  |
| 2. Тепловой расчет.....                                                        | 43  |
| 2.1. Вентиляционный расчет.....                                                | 46  |
| 3. Механический расчет вала.....                                               | 47  |
| 3.1. Определение критической частоты вращения.....                             | 50  |
| 3.2 Выбор подшипников.....                                                     | 51  |
| 4. Специальная часть.....                                                      | 51  |
| 4.1 Построение пусковой диаграммы и расчет сопротивлений.....                  | 53  |
| 4.2 Исходные данные к расчету пускового реостата для второй скорости.<br>..... | 56  |
| 4.3 Выбор типового ящика резисторов.....                                       | 58  |
| 4.4 Особенности конструкции блока Б6М.....                                     | 58  |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5. Условия эксплуатации.....                                                  | 59 |
| 4.6. Технические данные.....                                                    | 60 |
| 4.7. Пусковой реостат для первой скорости.....                                  | 61 |
| 4.8. Пусковой реостат для второй скорости.....                                  | 62 |
| 5. Технологическая часть.....                                                   | 64 |
| 5.1 Оценка технологичности конструкции.....                                     | 64 |
| 5.2 Расчет усилия запрессовки сердечника с катушкой в станину.....              | 67 |
| 5.3 Составление схемы сборки маршрутной технологии общей<br>сборки статора..... | 69 |
| 5.4 Выбор сборочного оборудования и оснастки.....                               | 71 |
| 5.5 Техническое нормирование операции.....                                      | 74 |
| 5.6 Определение потребного количества оборудования.....                         | 76 |
| 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности ресурсосбережении.....           | 78 |
| 6.1 Анализ потенциальных рисков и разработка мер по управлению.....             | 78 |
| 6.2 Оценка конкурентоспособности продукции.....                                 | 81 |
| 6.3 Анализ конкурентных технических решений.....                                | 84 |
| 6.4 Расчет себестоимости производства асинхронного двигателя.....               | 86 |
| 6.5 Материальные расходы.....                                                   | 87 |
| 6.6 Расходы на силовую электроэнергию.....                                      | 89 |
| 6.7 Полная заработная плата технологических рабочих .....                       | 90 |
| 6.8 Отчисление во внебюджетные фонды .....                                      | 92 |
| 6.9 Накладные расходы .....                                                     | 92 |
| 7. Определение рентабельности продукции.....                                    | 93 |
| 7.1 Расчет прибыли, определение критического объема производства.....           | 94 |
| 7.2 Расчет экономии электроэнергии при эксплуатации.....                        | 96 |
| 8. Социальная ответственность.....                                              | 97 |
| 8.1 Анализ опасных и вредных факторов.....                                      | 97 |
| 8.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....                                | 98 |

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| 8.3 Опасные факторы.....                       | 100 |
| 8.4 Экологическая безопасность .....           | 102 |
| 8.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях..... | 102 |
| 8.6 Правовые и организационные вопросы.....    | 103 |
| Заключение.....                                | 105 |
| Список использованной литературы.....          | 107 |
| ПриложениеА                                    |     |
| Графическийматери                              |     |

## Введение

Электродвигатели различных типов и исполнений развиваются на протяжении последних 150 лет, но наиболее используемым на сегодняшний день, является асинхронный электродвигатель переменного тока, т.к. является более надежным и простым в эксплуатации. Достаточно высокая эффективность в сочетании с простотой изготовления, высокой надежностью и низкой ценой делает его самым широко-применяемым типом двигателя по всему миру.

**Цель работы:** Проектирование кранового асинхронного двигателя с фазным ротором, мощностью 5 кВт, высотой оси вращения 132 (мм), числом полюсов  $2p=6$ , номинальным напряжением сети  $U_n=220(V)$ , частотой сети  $f=50$  (Гц), расчета и выбора пусковых добавочных сопротивлений. Для достижения поставленных целей в данной ВКР, необходимо. Произвести электромагнитный, тепловой, вентиляционный и механический расчеты асинхронного двигателя (АД). Произвести расчет пусковых добавочных сопротивлений, выбор типового комплекта – ящика резисторов для пуска данного АД, и разработать пусковую схему.

Рассмотреть технологический процесс сборки АД.

Обосновать технико-экономическое производство АД.

Рассмотреть безопасность технологического процесса сборки АД.

Во введении рассмотрена актуальность проектирования асинхронных двигателей с фазным ротором. В первом разделе выпускной квалификационной работы был произведен электромагнитный расчет АД с фазным ротором, а именно: рассчитаны главные размеры, спроектированы обмотки статора и ротора. Также выбраны обмоточные провода, изоляция, рассчитаны рабочие и пусковые характеристики.

Во втором разделе произведены тепловой и вентиляционный расчеты двигателя. В третьем разделе был произведен механический расчет вала асинхронного двигателя. В четвертом разделе - специальная часть - проведены

расчёты пусковых добавочных сопротивлений спроектированного АД и построена пусковая диаграмма. В пятом разделе - технологическая часть была произведена оценка технологичности конструкции проектируемого двигателя. Произведен размерный анализ конструкции. Разработан комплекс документов на общую сборку двигателя. Определены нормы времени и рассчитано количество оборудования необходимое для производства партии АД количеством 6700 штук. В пятом разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение - рассматриваются затраты и себестоимость данного проекта. Произведена оценка конкурентоспособности продукции. В шестом разделе социальная ответственность проекта был проведен анализ опасных и вредных факторов воздействующих на работников при производстве АД.

В заключении приведены основные результаты выполненных исследований, проведен их анализ и сделаны выводы по проделанной работе.

# 1. Электромагнитный расчет

## 1.1 Выбор основных размеров статора

1. Выбираем предварительно по табл.9.8 для  $h = 132$  мм внешний диаметр статора асинхронного двигателя серии АИР  $D_a = 230$  мм.

2. Определяем внутренний диаметр статора по ф-ле 9.2

$$D = K_D \cdot D_a$$

где  $K_D$  – коэффициент, характеризующий отношение внутренних и внешних диаметров сердечников статора. Табл.9.9 выбираем при  $2p=6$   $K_D=0.7$

$$D = 0,7 \cdot 0,230 = 0,161 \text{ м.}$$

Полюсное деление  $\tau$  найдем из ф-лы 9.3

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,160}{6} = 0,084 \text{ м.}$$

3. Расчетная мощность  $P$  находим по ф-ле 9.4

$$P' = P_2 \cdot \frac{k_E}{\eta \cdot \cos \varphi},$$

где  $P_2$  – мощность на валу двигателя, Вт;

$k_E$  – отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению по рис. 9.20. При  $D_a = 0.23$  м выбираем  $k_E = 0,96$

$\eta$  и  $\cos \varphi$  – примерное значение КПД и коэффициент мощности по рис. 9.21(а) При  $P_2 = 5$  кВт,  $\eta = 0,84$  и  $\cos \varphi = 0,82$

$$P_1 = 5000 \cdot \frac{0,96}{0,84 \cdot 0,82} = 6969 \text{ Вт}$$

Электромагнитные нагрузки предварительно выбираем по рис. 9.22 (а)

$$A = 27 \cdot 10^3 \text{ А/м; } B_\delta = 0,9 \text{ Тл}$$

Выбираем обмоточный коэффициент для однослойной обмотки. обмотка выбирается однослойной так как номинальная мощность небольшая

$$k_{o\delta 1} = 0,96$$

4. По ф-ле. 9.5 рассчитаем синхронную угловую частоту вала двигателя.

$$\Omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

5. Расчетная длина магнитопровода по ф-ле.9.6

$$l_{\delta} = \frac{P_1}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot k_{\text{од1}} AB_{\delta}} = \frac{6969}{1,11 \cdot 0,16^2 \cdot 104,7 \cdot 0,96 \cdot 27 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 0,1$$

Коэффициент формы поля подсчитаем по формуле:

$$k_b = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{3,14}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,11$$

6. Произведём проверку:

$$\lambda = \frac{\ell_{\delta}}{\tau} = \frac{0,1}{0,084} = 1,194$$

Полученное значение  $\lambda$  входит в область рекомендуемых пределов (1-1.7) показанных на рис. 9.25

## 1.2 Расчет обмотки статора

При расчёте обмотки статора определяется число пазов статора, число витков в фазе обмотки и сечение проводника. При этом число витков фазы обмотки статора должно быть таким, чтобы линейная нагрузка двигателя и индукция в воздушном зазоре как можно более близко совпадали с их значениями принятыми предварительно при выборе главных размеров, а число пазов статора обеспечивало достаточно равномерное распределение катушек обмотки. Предварительно была выбрана однослойная обмотка. Эти обмотки применяют в машинах мощностью до 16 кВт

Зубцовое деление статора  $t_{Z1}$  из рис. 9.26

Максимальное значение  $t_{Z1\max} = 0,012$  м

Минимальное значение  $t_{Z1\min} = 0,009$  м

7. Возможное число пазов статора  $Z$  найдем по ф- ле 9.16

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{Z1\max}} = \frac{\pi \cdot 0,16}{0,012} = 42$$

$$Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{Z1\min}} = \frac{\pi \cdot 0,16}{0,009} = 56$$

Окончательное число пазов статора выбираем с учётом условий, налагаемых требованиями симметрии обмотки, и желательно получения целого числа пазов на полюс и фазу.

Принимаем  $Z_1 = 54$

Число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{Z_1}{2 \cdot p \cdot m} = \frac{54}{6 \cdot 3} = 3$$

Зубцовое деление статора (окончательно)

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{2p \cdot q \cdot m} = \frac{\pi \cdot 0,16}{6 \cdot 3 \cdot 3} = 0,0093 \text{ м}$$

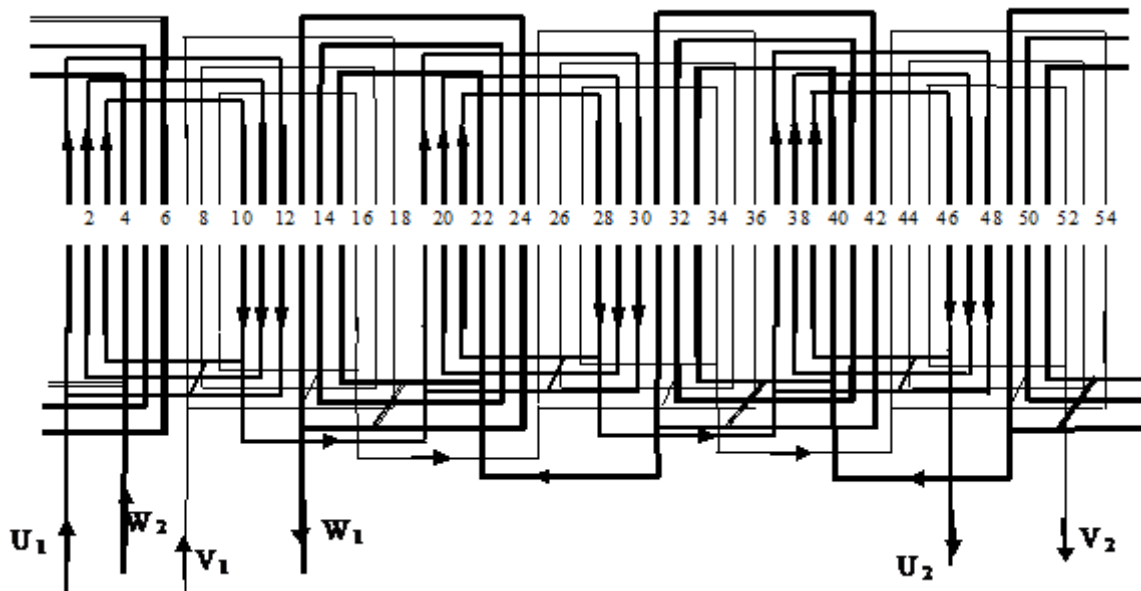


Рис.1 Схема трехфазной однослойной обмотки статора  $Z_1 = 54$ ,  $2p = 6$ ,  $q = 3$ ,  $a = 1$

8. Условие, что при  $h > 56$  мм количество зубцовых делений должно быть не менее 6-7 мм, выполняется.

Число эффективных проводников в пазу (при условии, что параллельные ветви отсутствуют  $a = 1$ ) по ф-ле 9.17

$$u'_n = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_1 \cdot Z_1} = \frac{\pi \cdot 0,16 \cdot 2,7 \times 10^4}{11 \cdot 54} = 22,85$$

где  $I_{ном}$  – номинальный фазный ток по ф-ле 9.18

$$I_{ном} = \frac{P_2}{m \cdot U_{ном} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{5000}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,82} = 11,4$$

9. Принимаем число параллельных ветвей  $a=1$ , тогда число эффективных проводников в пазу будет равно

$$u_n = a \cdot u'_n = 1 \cdot 22,85 = 22,85$$

10. Принимаем ближайшее целое значение  $U_n=23$

Окончательное число витков в фазе по ф-ле 9.20

$$w_1 = \frac{u_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m_1} = \frac{23 \cdot 54}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 207$$

11. Окончательное значение линейной нагрузки по ф-ле 9.21

$$A = \frac{2 \cdot I_1 \cdot w_1 \cdot m_1}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 11 \cdot 207 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,16} = 2,72 \times 10^4 \text{ A / м}$$

12. Полученное значение находится в допустимом пределе.

Магнитный поток по ф-ле 9.22

$$\Phi = \frac{K_\varepsilon \cdot U_1}{4 \cdot k_b \cdot w_1 \cdot K_{об} \cdot f_1} = \frac{0,96 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 207 \cdot 0,96 \cdot 50} = 0,005 \text{ Вб}$$

$$K_{об1} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot m_1}\right)}{q \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot q \cdot m_1}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{3,14}{2 \cdot 3}\right)}{3 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot 3 \cdot 3}\right)} = 0,96$$

13. Индукцию в воздушном зазоре примем (окончательно) по ф-ле 9.23

$$B_\delta = \frac{\Phi \cdot p}{D \cdot l_\delta} = \frac{0,0048 \cdot 3}{0,16 \cdot 0,1} = 0,898 \text{ Тл}$$

Значения А и В находятся в допустимых пределах см. рис.9.22 не более 10%.

Определим допустимую плотность тока в обмотке статора, с учётом линейной нагрузки двигателя по ф-ле 9-25.  $AJ = 170 \cdot 10^9$

15. По рис. 9.27 выберем среднее значение произведения (AJ), при  $Da = 0,23$

$$J_1 = \frac{AJ}{A} = \frac{170 \times 10^9}{2,72 \times 10^4} = 6,26 \times 10^6 \text{ A}^2 / \text{м}^2$$

Предварительно сечение эффективного проводника определим по ф-ле 9.24

$$q_{эф} = \frac{I_1}{a \cdot J_1} = \frac{11}{1 \cdot (6,26 \times 10^6)} = 1,758 \times 10^{-6} \text{ м}^2 \text{ принимаем } n_{эл} = 1$$

16. Обмоточный провод выбираем по табл. П-28 ПЭТ -155.

$$q_{эл} = q_{эф} / n_{эл} = 2,85 / 4 = 0,712 \text{ мм}^2$$

Обмоточный провод выбираем по табл. П-28 ПЭТ-155

$$d_{эл} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ м} \quad d_{из} = 1,585 \times 10^{-3} \text{ м} \quad q_{эл} = 1,767 \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

Уточняем сечение эффективного проводника:

$$q_{эф} = q_{эл} \cdot n_{эл} = 0,709 \cdot 4 = 2,84 \text{ мм}^2$$

17. Плотность тока ( окончательно)

$$J_1 = \frac{I_1}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}} = \frac{11}{1 \cdot (1,767 \times 10^{-6}) \cdot 1} = 6,225 \times 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

### 1.2.1 Расчёт размеров зубцовой зоны статора

Выбираем трапецеидальный паз статора

Выбираем допустимые значения индукции табл. 9.12

ярм статора рекомендуемые пределы (1.4 - 1.6) Тл;

зубцов статора при постоянном сечении, рекомендуемые

пределы (1.6 - 1.9) Тл;

индукция в зубцах статора  $B_{z1} = 1,65 \text{ Тл}$

индукция в ярме статора  $B_a = 1,5 \text{ Тл}$

18. Ширина зубца статора по ф-ле 9.29

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1}{B_{z1} \cdot k_c} = \frac{0,898 \cdot 0,0093}{1,65 \cdot 0,97} = 0,0052 \text{ м}$$

$k_c$  — коэффициент заполнения пакета сталью по табл. 9.13  $K_c = 0,97$

19. Высота ярма статора по ф-ле. 9.28

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot \ell_{\delta} \cdot k_c} = \frac{0,0048}{2 \cdot 1,5 \cdot 0,1 \cdot 0,97} = 0,0165 \text{ м}$$

Ширину шлица принимаем  $b_{ш} = 3,5 \times 10^{-3} \text{ м}$  по табл. 9.16

высоту шлица принимаем  $h_{ш} = 0,5 \times 10^{-3} \text{ м}$

Высота паза в штампе по ф-ле. 9.38

$$h_n = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{0,23 - 0,16}{2} - 0,0165 = 0,0185 \text{ м}$$

20. Максимальная ширина паза по ф-ле. 9.39

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_n)}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot (0,16 + 2 \cdot 0,0185)}{54} - 0,0052 = 0,0063 \text{ м}$$

Минимальная ширина паза по ф-ле. 9.40

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_u - b_u) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi \cdot (0,16 + 2 \cdot 0,005 - 0,0035) - 54 \cdot 0,0052}{54 - 3,14} = 0,0042 \text{ м}$$

Высота паза, предназначенная для укладки обмотки по ф-ле. 9.4

$$h_1 = h_n - \left( h_u + \frac{b_2 - b_{u1}}{2} \right) = 0,0185 - \left( 0,0005 + \frac{0,0042 - 0,0035}{2} \right) = 0,0176 \text{ м}$$

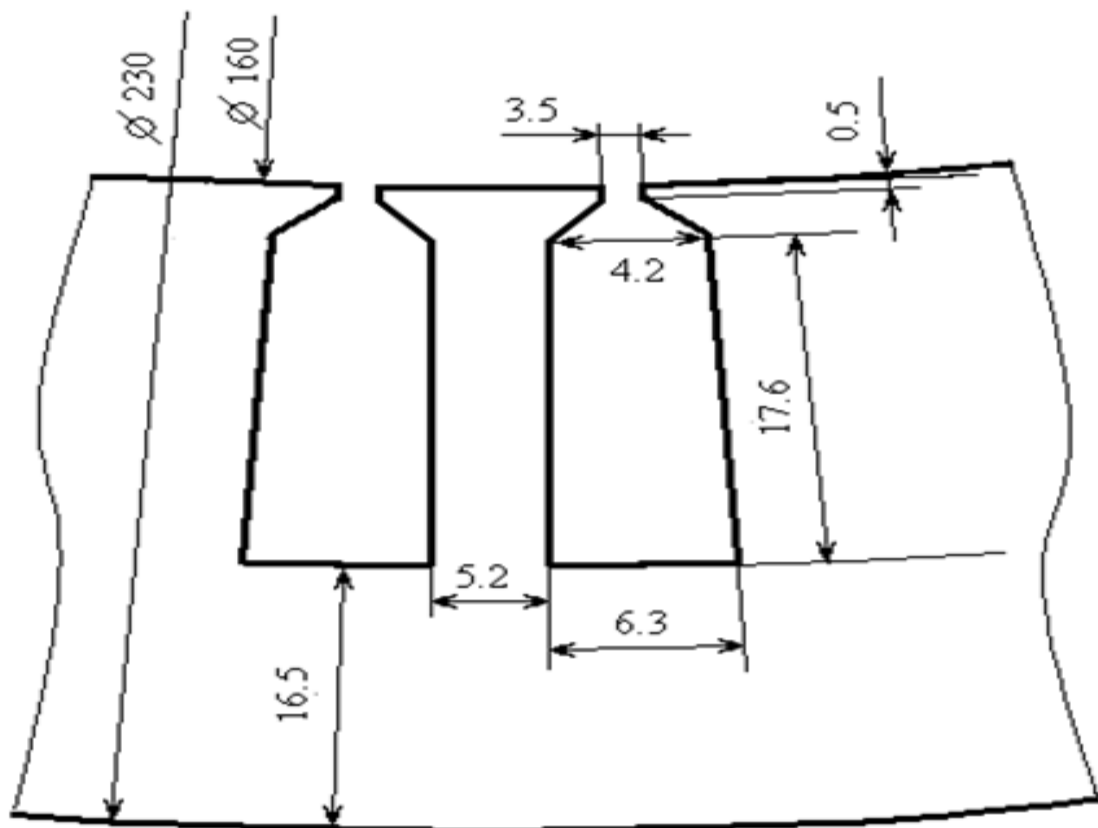


Рис. 2 Трапецеидальные пазы статора

Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку по ф-ле. 9.42

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_n = 0,0063 - 0,0001 = 0,0062 \text{ м}$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_n = 0,042 - 0,0001 = 0,041 \text{ м}$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_n = 0,0176 - 0,0001 = 0,0175 \text{ м}$$

Одностороннюю толщину изоляции в пазу найдём по таб. 3.8

$$b_{из} = 0,26 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

21. Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу по ф-ле. 9.46

$$S_{из} = b_{из} \cdot (2h_n + b_1 + b_2) = 0,26 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 0,0185 + 0,0063 + 0,0042) = 1,23 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников по ф-ле. 9.48

$$S_n = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_1 - (S_{из} + S_{np}) = \frac{0,0062 + 0,0041}{2} \cdot 0,0176 - 1,23 \times 10^{-5} = 7,834 \times 10^{-5} \text{ м}^2 \quad 22.$$

Коэффициент заполнения паза

$$k_3 = \frac{d_{из}^2 \cdot n_{эл} \cdot U_{II}}{S_{II}} = \frac{(1,23 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1 \cdot 23}{7,834 \cdot 10^{-5}} = 0,7375$$

Полученное значение коэффициента заполнения паза находится в рекомендуемом пределе  $k_3 = 0,72 - 0,74$  для двигателей  $2p = 6$

### 1.3 Расчёт ротора

23. Воздушный зазор следует выбирать, руководствуясь данными выпускаемых двигателей из рис. 9.31 для  $2p = 6$

$$\delta = 0,25 \cdot 10^{-3}$$

24. Длина ротора принимается равной длине статора

$$l_2 = l_\delta \quad l_2 = 0,1 \text{ м}$$

Обмотку ротора выполняем в простой волновой с

$$m_2 = m_1, \quad p_2 = p_1, \quad q_2 = 2;$$

$$\text{Тогда } Z_2 = 2 \cdot p \cdot q_2 \cdot m_2 = 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 = 36$$

принимаем  $Z_2 = 36$ .

25. Внешний диаметр ротора

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0,161 - 2 \cdot (0,25 \cdot 10^{-3}) = 0,1595 \text{ м}$$

26. Зубцовое деление ротора

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{3,14 \cdot 0,1595}{36} = 0,0139 \text{ м}$$

Предварительно задаемся ЭДС фазы E2 (150-250) В E2 = 230

Почисловитков в фазе:

$$w_2 = \frac{E_2 \cdot w_1}{U_1} = \frac{230 \cdot 207}{220} = 216$$

27. Напряжение на кольцах ротора по ф-ле. 9.56

$$U_k = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} = 1,73 \cdot 220 \cdot \frac{216}{207} = 397,6 \text{ В}$$

Число эффективных проводников в пазу по ф-ле. 9.53 a2 = 1

$$U_{\Pi 2} = \frac{2 \cdot m_2 \cdot w_2 \cdot a_2}{Z_2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 216 \cdot 1}{36} = 36 \text{ с}$$

Значение коэффициента приведения токов в подсчитаем по ф-ле 9.59

$$\nu_i = \frac{m_1 \cdot \omega_1 \cdot K_{об1}}{m_2 \cdot \omega_2 \cdot K_{об2}} = \frac{3 \cdot 207 \cdot 0,96}{3 \cdot 216 \cdot 0,966} = 0,95 \text{ В}$$

28. Ток в обмотке ротора по фор. 9.57

$$I_2 = k_i \cdot \nu_i \cdot I_1 = 0,856 \cdot 0,95 \cdot 11 = 8,97 \text{ А}$$

Плотность тока в обмотках ротора по ф-ле. 9.57

$$J_2 = 6 \cdot 5 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$$

29. Сечение эффективных проводников обмотки ротора по ф-ле. 9.60

$$q_{\phi 2} = \frac{I_2}{J_2} = \frac{8,97}{6 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 1} = 1,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Принимаем число элементарных проводников в одном эффективном

$$q_{эл 2} = \frac{q_{\phi 2}}{n_{эл 2}} = \frac{1,38 \times 10^{-5}}{1} = 1,38 \times 10^{-6} \text{ м}$$

Плотность тока в стержне (окончательно)

$$J_2 = \frac{I_2}{q_{\text{эф}} \cdot a_2} = \frac{8,97}{1,368 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 6,55 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2}$$

### 1.3.1 Расчет размеров зубцовой зоны ротора

30. Выбираем полузакрытые пазы ротора

$$b_{u2} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad h_{u2} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Рекомендуемые значения индукции для зубцов ротора при исполнении IP44 с числом полюсов  $2p=36$  выбираются в пределах  $B_{z2} = (1.7-1.95) \text{ Тл.}$ ,  $B_{a2} = (1.3-1.5) \text{ Тл}$

$$B_{z2} = 1,81 \text{ Тл} \quad B_{a2} = 1,4 \text{ Тл}$$

Коэффициент заполнения сталью  $k_c = 0,97$

31. Допустимая ширина зубца

$$b_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2}{B_{z2} \cdot k_c} = \frac{0,898 \cdot 0,0139}{1,81 \cdot 0,97} = 0,0071 \text{ м}$$

Индукция ярма фазного ротора  $B_j = 1,1$

32. Высота ярма ротора

$$h_{j2} = \frac{\Phi}{2 \cdot B_j \cdot l_{\delta} \cdot k_c} = \frac{0,0048}{2 \cdot 1,1 \cdot 0,1 \cdot 0,97} = 0,0224 \text{ м}$$

33. При непосредственной посадке сердечника на вал внутренний диаметр равен диаметру вала при

$$\kappa_B = 0,23 \quad D_B = \kappa_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 0,23 = 0,0529 \quad D_j = D_B = 0,529 \text{ м}$$

32. Полная высота паза равна:

$$h_{п2} = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{j2} = \frac{0,1595 - 0,0529}{2} - 0,0224 = 0,0309 \text{ м}$$

Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку подсчитаем

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{u2}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{\pi + Z_2} = \frac{3,14 \cdot (0,1595 - 2 \cdot 0,001) - 36 \cdot 0,0071}{3,14 + 36} = 0,0061 \text{ м}$$

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{\Pi 2}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{Z_2 - \pi} = \frac{3,14 \cdot (0,1595 - 2 \cdot 0,0309) - 36 \cdot 0,0071}{36 - 3,14} = 0,0016 \text{ м}$$

$$h_1 = h_{\Pi 2} - \left( \frac{b_2}{2} + h_{из2} + \frac{b_1}{2} \right) = 0,0309 - \left( \frac{0,0016}{2} + 0,001 + \frac{0,0061}{2} \right) = 0,0261 \text{ м}$$

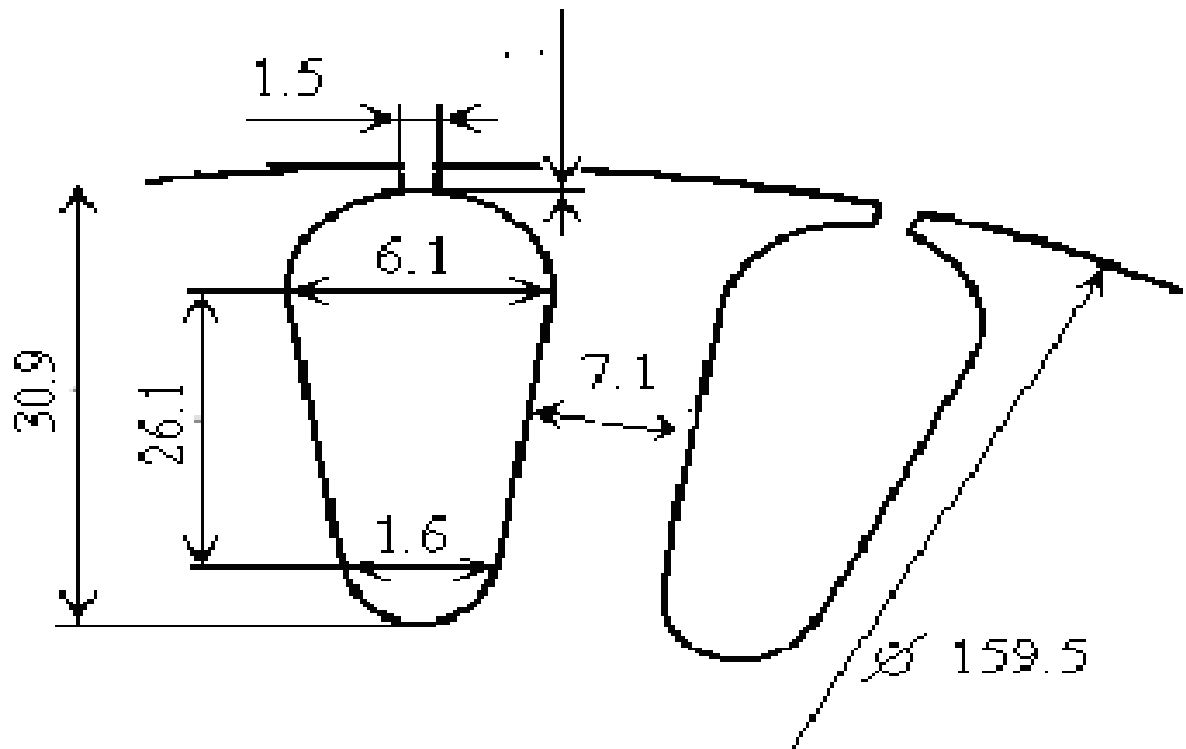


Рис.3 Паз ротора

Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку подсчитаем.

$$\Delta b_{\Pi 2} = 0,1 \cdot 10^{-3} \quad \Delta h_{\Pi 2} = 0,1 \cdot 10^{-3}$$

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_{\Pi 2} \quad b'_1 = 0,0061 \quad b'_1 = 0,006$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_{\Pi 2} \quad h'_1 = 0,0261 \quad h'_1 = 0,026$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_{\Pi 2} \quad b'_2 = 0,0016 \quad b'_2 = 0,0015$$

Одностороннюю толщину изоляции в пазу

$$b_{из2} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Площадь корпусной изоляции в пазу

$$S_{u32} = b_{u32} \cdot \left[ 2 \cdot \left( h_{\Pi 2} - \frac{b_1^* + b_2^*}{2} \right) + \frac{\pi \cdot 3,14 \cdot b_2^*}{2} \right] = 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ 2 \cdot \left( 0,0309 - \frac{0,006 + 0,0015}{2} \right) + \frac{3,14 \cdot 0,026}{2} \right] = 1,416 \times 10^{-5} \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения, оставшаяся для размещения проводников в обмотке.

$$S_{\Pi 2}^* = \frac{\pi \cdot b_1^{*2}}{8} + \frac{(b_1^* + b_2^*) \cdot h_1^*}{2} - S_{u32} = \frac{3,14 \cdot 0,006^2}{8} + \frac{(0,006 + 0,0015) \cdot 0,026}{2} - 1,416 \cdot 10^{-5} = 9,747 \times 10^{-5} \text{ м}^2$$

Подсчитаем коэффициент заполнения паза

$$k_z = \frac{d_{u32}^2 \cdot n_{\Pi 2} \cdot U_{\Pi 2}}{S_{\Pi 2}^*} = \frac{(0,0014)^2 \cdot 1 \cdot 36}{9,747 \times 10^{-5}} = 0,729$$

Коэффициент заполнения паза входит в область допустимых пределов  $k_z = 0,72 - 0,74$  для двигателей  $2p = 6$

#### 1.4 Расчёт магнитной цепи

34. Расчёт намагничивающего тока будем проводить для режима холостого хода двигателя, при котором для асинхронных машин характерно сильное насыщение стали зубцов статора и ротора.

Индукция в зубцах статора (окончательно)

$$B_{z1} = \frac{B_\delta \cdot t_1}{b_{z1} \cdot k_c} = \frac{0,8976 \cdot 0,0093}{0,0052 \cdot 0,97} = 1,657 \text{ Тл}$$

Индукция в зубцах ротора (окончательно)

$$B_{z2} = \frac{B_\delta + t_2}{b_{z2} \cdot k_c} = \frac{0,8976 + 0,0139}{0,0071 \cdot 0,97} = 1,8142 \text{ Тл}$$

Индукция в ярме статора (окончательно) по ф-ле. 9.117

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot l_\delta \cdot k_c} = \frac{0,0048}{2 \cdot 0,0165 \cdot 0,1 \cdot 0,97} = 1,496 \text{ Тл}$$

где расчетная ярма статора по ф-ле. 9.118

$$h_a^* = \frac{D_a - D}{2} - h_n = \frac{0,23 - 0,16}{2} - 0,0185 = 0,0165 \text{ м}$$

Расчётная высота ярма ротора по ф-ле. 9.124.

$$h_j^* = \frac{2+p}{3,2 \cdot p} \cdot \left( \frac{D_2}{2} - h_{n2} \right) = \frac{2+3}{3,2 \cdot 3} \cdot \left( \frac{0,1595}{2} - 0,0309 \right) = 0,025 \text{ м}$$

Индукция в ярме ротора по ф-ле.9.122

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h_j \cdot l_\delta \cdot k_c} = \frac{0,0048}{2 \cdot 0,0254 \cdot 0,1 \cdot 0,97} = 0,97 \text{ Тл}$$

Коэффициент воздушного зазора по ф-ле.4.17, 4.18

$$k_\delta = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} = 1,3832 \cdot 1,0625 = 1,47$$

где

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma_1 \cdot \delta} = \frac{0,0093}{0,0093 - 10,316 \cdot 0,00025} = 1,3832$$

$$k_{\delta 2} = \frac{t_2}{t_2 - \gamma_2 \cdot \delta} = \frac{0,0139}{0,0139 + 3,273 \cdot 0,00025} = 1,0625$$

$$\gamma = \frac{\left( \frac{b_u}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{b_u}{\delta}} = \frac{\left( \frac{0,0035}{0,00025} \right)^2}{5 + \frac{0,0035}{0,00025}} = 10,316 \quad \gamma_2 = \frac{\left( \frac{b_{u2}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{b_{u2}}{\delta}} = \frac{\left( \frac{0,0015}{0,00025} \right)^2}{5 + \frac{0,0015}{0,00025}} = 3,273$$

35. Магнитное напряжение воздушного зазора по ф-ле. 9.103

$$F_\delta = \frac{2}{\mu} \cdot B_\delta \cdot \delta \cdot k_\delta \cdot 1,59 \cdot 10^6 = 0,8976 \cdot 0,00025 \cdot 1,47 \cdot 1,59 \cdot 10^6 = 524,38 \text{ А}$$

Расчётная высота зубца статора  $h_{z1} = 0,0185$

$$h_{z2} = h_{п2} - 0,1 \cdot b_2 = 0,0309 - 0,1 \cdot 0,0016 = 0,0307 \text{ м}$$

Напряжённость поля в зубцах находим по таб. П-1.7 для ст. 2013 при

$$B_{z1} = 1,657 \text{ Тл} \quad B_{z2} = 1,814 \text{ Тл}$$

$$H_{z1} = 1020 \frac{\text{А}}{\text{м}} \quad H_{z2} = 1570 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

По ф-ле.9.104 стали марки 2013 определяем напряжённость магнитного поля для зубцов АД:  $H_{z1} = 1020 \text{ А/м}$ .

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 0,0185 \cdot 1020 = 37,74 \text{ А}$$

36. Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора по ф-ле. 9.105(а)

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} = 2 \cdot 0,0307 \cdot 1570 = 96,524 A$$

$H_{z2}$ —напряжённость магнитного поля для стали 2013 при индукции  $B_{z2} = 1,814 \text{ Тл}$ ,  
 $H_{z2} = 1570 \text{ А/м}$ .

Коэффициент насыщения зубцовой зоны по ф-ле. 9.115.

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} = 1 + \frac{37,74 + 96,524}{524,375} = 1,256$$

37. Полученное значение коэффициента насыщения зубцовой зоны удовлетворяет пределам (1.2-1.6) т.е. для проектируемого двигателя правильно выбрано значение воздушного зазора.

$L_a$ —длина средней магнитной линии ярма статора рассчитывается по ф-ле. 9-119

$$L_a = \frac{\pi \cdot (D_a - h_a)}{2p} = \frac{\pi \cdot (0,23 - 0,017)}{6} = 0,112 \text{ м}$$

38. Напряженность поля  $H_a$  при индукции  $B_a$  для стали 2013 найдём по таб.П-6

$$B_a = 1,4956 \text{ Тл} \quad H_a = 520 \frac{A}{м}$$

39. Длина магнитной линии ярма ротора по ф-ле. 9.127

$$L_j = \pi \cdot \frac{D_j + h_j}{2 \cdot p} = 3,14 \cdot \frac{0,0529 + 0,022}{6} = 0,0394 \text{ м}$$

где  $h_j$  — высота спинки ротора по ф-ле. 9.126.

$$h_j = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{n2} = \frac{0,1595 - 0,0529}{2} - 0,0309 = 0,022 \text{ м}$$

40. Магнитное напряжение ярма статора по ф-ле. 9.116

$$F_a = L_a \cdot H_a = 0,112 \cdot 520 = 58,1 A$$

Магнитное напряжение ярма ротора по ф-ле. 9.121

$$F_j = L_j \cdot H_j = 0,0394 \cdot 168 = 6,62 A$$

где  $H_j$ —напряжённость магнитного поля ярма ротора по табл.П-6; для стали 2013 при индукции  $B_j = 0,97 \text{ Тл}$ ,  $H_j = 168 \text{ А/м}$ .

Магнитное напряжение на паре полюсов по ф-ле. 9.128

$$F_y = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 524,375 + 37,74 + 96,524 + 58,13 + 6,62 = 723,4 \text{ A}$$

41. Коэффициент насыщения магнитной цепи по ф-ле. 9.129.

$$k_\mu = \frac{F_y}{F_\delta} = \frac{723,4}{524,375} = 1,38$$

42. Намагничивающий ток по ф-ле. 9.130.

$$I_\mu = \frac{p \cdot F_y}{0,9 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot k_{o61}} = \frac{3 \cdot 723,4}{0,9 \cdot 3 \cdot 207 \cdot 0,96} = 4,045 \text{ A}$$

Относительное значение намагничивающего тока по ф-ле. 9.131.

$$I_\mu^* = \frac{I_\mu}{I_{ном}} = \frac{4,045}{10,998} = 0,368$$

Относительное значение  $I_\mu^*$  служит определенным критерием правильности произведенного выбора и расчета размеров и обмотки двигателя. Так, если при проектировании двигателя средней мощности расчет показал, что  $I_\mu^*$  ниже 0,20 - 0,18, то это свидетельствует о том, что размеры машины выбраны завышенными и активные материалы недоиспользованы. Такой двигатель может иметь высокие КПД и cos, но плохие показатели расхода материалов на единицу мощности, большую массу и габариты.

Если же в аналогичном двигателе  $I_\mu^*$  больше 0,4 то это означает, что либо его габариты взяты меньшими, чем следовало, либо неправильно выбраны размерные соотношения участков магнитопровода. Двигатель будет иметь низкие КПД и cos.

## 1.5 Параметры рабочего режима

Средняя ширина катушки по ф-ле. 9.138.

$$b_{\kappa m} = \pi \cdot \frac{(D + h_n)}{2 \cdot p} = 3,14 \frac{(0,16 + 0,019)}{6} = 0,0935 \text{ м}$$

Длина лобовой части по ф-ле. 9.136

Лобовая часть катушек имеет сложную конфигурацию. Точный расчёт её длины и длины вылета лобовой части требует предварительного определения всех размеров катушки и сопряжён со значительным объёмом расчётов, данные которых в дальнейшем электромагнитном расчёте обычно не используются. Для машин малой и средней мощности достаточно точные для практических расчётов результаты дают эмпирические формулы, учитывающие основные особенности конструктивных форм катушек.

$$l_{\text{л}} = K_{\text{л}} \cdot b_{\text{км}} + 2 \cdot B = 1,4 \cdot 0,935 + 2 \cdot 0,01 = 0,151 \text{ м}$$

где  $K_{\text{л}}$  – коэффициент по табл. 9.23  $K_{\text{л}} = 1,4$

$B$  – длина вылета прямолинейной части катушек из паза от торца сердечника до начала отгиба лобовой части  $B = 0,01 \text{ м}$ .

Вылет лобовых частей обмотки по ф-ле. 9.137.

$$\ell_{\text{выл}} = K_{\text{выл}} \cdot b_{\text{км}} + B = 0,5 \cdot 0,0935 + 0,01 = 0,057 \text{ м}$$

где  $K_{\text{выл}}$  – коэффициент по табл. 9.23  $K_{\text{выл}} = 0,5$

Средняя длина витка обмотки по ф-ле. 9.135

$$\ell_{\text{ср}} = 2 \cdot (\ell_{\text{л}} + \ell_{\text{н}}) = 2 \cdot (0,1 + 0,151) = 0,5 \text{ м}$$

где  $\ell_{\text{н}}$  – длина пазовой части;  $\ell_{\text{л}} = \ell_{\delta} = 0,1 \text{ м}$

Длина проводников фазы обмотки по ф-ле 9-134

$$L_1 = l_{\text{ср}} \cdot W_1 = 0,5 \cdot 207 = 103,5 \text{ м}$$

Для меди удельное сопротивление равно

$$\rho_{75^{\circ}\text{C}} = \frac{10^{-6}}{47} = 2,128 \times 10^{-8}$$

### 1.5.1 Активное сопротивление фазы обмотки статора

43 ф-ле. 9.132

$$r_1 = \rho_{115} \cdot \frac{L_1}{q_{\text{эф}} \cdot a} = 2,128 \times 10^{-8} \cdot \frac{103,851}{1,767 \times 10^{-6} \cdot 1} = 1,25 \text{ Ом}$$

Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки статора

$$r_1^* = r_1 \cdot \frac{I_1}{U_{1H}} = 1025 \cdot \frac{10,998}{220} = 0,0625$$

40. Найдём среднюю длину катушки используя ф-лу 9-138

$$b_{KT} = \pi \cdot \frac{D_2 - h_{П2}}{2 \cdot p} = 3,14 \cdot \frac{0,1595}{2 \cdot 3} = 0,067 \text{ м}$$

44. Для катушки выпной обмотки ротора вылет лобовых частей обмотки равен (ф-ла 9.140).

$$l_{\text{вбл}2} = K_{\text{вбл}2} \cdot b_{KT2} + B_2 = 0,5 \cdot 0,067 + 0,01 = 0,044 \text{ м}$$

Длина лобовой части выпной обмотки ротора

$$l_{\pi 2} = K_{\pi 2} \cdot b_{KT2} \cdot 2 \cdot B_2 = 1,4 \cdot 0,0673 + 2 \cdot 0,01 = 0,114 \text{ м}$$

Средняя длина витка

$$l_{cp2} = 2 \cdot (l_{П2} + l_{\pi 2}) = 2 \cdot (0,1 + 0,114) = 0,43 \text{ м}$$

Общая длина проводников обмотки

$$L_{cp2} = l_{cp2} \cdot \omega_2 = 0,43 \cdot 216 = 93 \text{ м}$$

45. Активное сопротивление обмотки ротора

$$r_2 = \rho_{75c} \cdot \frac{L_{cp2}}{q_{\phi 2} \cdot a_2} = 2,1277 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{93}{1,368 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 1,4397 \text{ Ом}$$

46. Коэффициент приведения сопротивлений обмотки ротора к обмотке статора по ф-ле. 9.151

$$\nu_{12} = \frac{m_1 \cdot (w_1 \cdot K_{o\phi 1})^2}{m_2 \cdot (w_2 \cdot K_{o\phi 2})^2} = \frac{3 \cdot (207 \cdot 0,96)^2}{3 \cdot (237,6 \cdot 0,9659)^2} = 0,75$$

Сопротивление, приведенное к обмотке статора

$$r'_2 = r_2 \cdot \nu_{12} = 0,75 \cdot 1,4 = 1,07 \text{ Ом}$$

Относительное значение сопротивление

$$r'_2 = r'_2 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 1,0793 \cdot \frac{10,9985}{220} = 0,054$$

47. Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора

$$\lambda_{n1} = \frac{h_3}{3 \cdot b_2} + \left( \frac{3 \cdot h_1}{b_2 + 2 \cdot b_{u1}} + \frac{h_{u1}}{b_{u1}} \right) = \frac{0,0255}{3 \cdot 0,0063} + \left( \frac{3 \cdot 0,0014}{0,0063 + 2 \cdot 0,0035} + \frac{0,0005}{0,0035} \right) = 1,808$$

48. Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния по ф-ле. 9.159

$$\lambda_{n1} = 0,34 \cdot \frac{q}{\ell_{\delta}} \cdot (\ell - 0,64 \cdot \beta \cdot \tau) = 0,34 \cdot \frac{3}{0,1} \cdot (0,1508 - 0,64 \cdot 1 \cdot 0,0838) = 0,992$$

49. Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора по ф-ле. 9.174

$$\lambda_{\delta} = \frac{t_1}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi = \frac{0,0093}{12 \cdot 0,00025 \cdot 1,41} \cdot 0,739 = 1,561$$

где значение  $\xi$  – коэффициент по ф-ле. 9.176

$$\xi = 2 \cdot k_{\text{ск}}^* \cdot k_{\beta} - \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \cdot K_{\text{об1}}^2 (\beta_{\text{ск}}^2 + 1) = 2 \cdot 1,4 \cdot 1 - (1,495)^2 \cdot 0,96^2 \cdot (0^2 + 1) = 0,739$$

### 1.5.2 Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора

50. по ф-ле. 9.174

$$x_1 = \left[ 15,5 \left( \frac{50}{100} \right) \cdot \left( \frac{207}{100} \right)^2 \right] \cdot \frac{0,1}{3,3} \cdot (1,561 + 1,8079 + 0,9918) = 1,64 \text{ Ом}$$

Относительное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки статора

$$x_1^* = x_1 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 1,64 \cdot \frac{10,9985}{220} = 0,082$$

51. Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора

$$h_{23} = h_{\Pi 2} - 2 \cdot b_{u3} - \frac{b_1}{2} - h_{u2} - 0,1 \cdot b_2 = 0,0309 - 2 \cdot 0,00025 - \frac{0,0061}{2} - 5 \cdot 0,001 - 0,1 \cdot 0,0016 = 0,0262 \text{ м}$$

$$\lambda_{\Pi 2} = \frac{h_{23}}{3 \cdot b_1} \cdot k_{\beta} + \left( 0,785 - \frac{b_{u2}}{2 \cdot b_1} + \frac{h_{u2}}{b_{u2}} + \frac{b_{u3}}{b_1} \right) = \frac{0,0262}{3 \cdot 0,0061} \cdot 1 + \left( 0,785 - \frac{0,0015}{2 \cdot 0,0061} + \frac{0,001}{0,0015} + \frac{0,00025}{0,0061} \right) = 2,8$$

52. Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки ротора

$$\tau_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{2 \cdot p} = \frac{3,14 \cdot 0,1595}{2 \cdot 3} = 0,0835 \text{ полюсное деление ротора}$$

$$\lambda_{\pi 2} = 0,34 \cdot \frac{q_2}{l_\delta} \cdot (L_{\pi p} - 0,64 \cdot \beta_p \cdot t_2) = 0,34 \cdot \frac{q_2 \cdot (l_{\pi 2} - 0,64 \cdot \beta \cdot \tau_2)}{l_2} = 0,34 \cdot 2 \cdot \frac{(0,1143 - 0,64 \cdot 1 \cdot 0,0835)}{0,1} = 0,41$$

Значение коэффициента  $\lambda_z$  находим по кривым рис. 9.51(а), 9.51(в) исходя из размерных соотношений

$$\frac{b_{u2}}{\delta} = 6 \frac{b_{u2}}{t_2} = 0,1 \quad \Delta_z = 0,03 \quad \kappa^* = 0,022$$

Коэффициент  $\xi$  по ф-ле. 9.161

$$\xi_2 = \kappa^* \cdot (q2)^2 + 2 \cdot k_\beta - K_{\sigma 2}^2 \cdot (1 + \Delta_z) = 0,02 \cdot 2^2 + 2 \cdot 1 - 0,9659^2 \cdot (1 + 0,07) = 1,13$$

53. Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора

$$\lambda_{\pi 2} = \frac{t_2}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta 2}} \cdot \xi_2 = \frac{0,0171}{12 \cdot 0,00025 \cdot 1,0625} \cdot 1,13 = 4,922$$

54. Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора по ф-ле. 9.174

$$x_2 = 15,8 \cdot \frac{f_1}{100} \cdot \frac{l_\delta}{p \cdot q_2} \cdot \left( \frac{w_2}{100} \right)^2 \cdot (\lambda_{\pi 2} + \lambda_{\pi 2} + \lambda_{\pi 2}) = 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \frac{0,115}{3 \cdot 2} \cdot \left( \frac{162}{100} \right)^2 \cdot (2,07 + 3,239 + 0,32) = 2,7489 \text{ Ом}$$

Приведём полученное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора к числу витков первичной обмотки

$$x_2^* = x_2 \cdot v_{12} = 2,7489 \cdot 0,7497 = 2,061$$

Относительное значение  $x_2$

$$x_2^* = x_2' \cdot \frac{I_1}{U_1} = 2,061 \cdot \frac{10,9985}{220} = 0,103$$

Как видим относительные реактивные сопротивления находятся в нужных пределах (0.1-0.18), есть превышение активного сопротивления статора, но для двигателей небольшой мощности это возможно согласно указаниям стр. 411 [1].

## 1.6 Расчёт потерь

Удельные потери в стали А.Д. ги значение коэффициента  $\beta$  при толщине листов 0,5 мм выбираем для ст.2013

$$\frac{P_1}{50} = 2,5 \frac{BT}{\text{кГ}}$$

Коэффициенты  $k_{\text{да}}$  и  $k_{\text{ДЗ}}$  учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов.

$$k_{\text{да}} = 1,6 \quad k_{\text{ДЗ}} = 1,8 \quad \beta = 1,3$$

Удельная масса стали принимается равной:  $\gamma_c = 7,8 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$

Масса стали зубцов статора по ф-ле 9-189

$$m_{z1} = h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot Z_1 \cdot \ell_{\delta} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = 0,0185 \cdot 0,0052 \cdot 54 \cdot 0,1 \cdot 0,97 \cdot 7,8 = 3,93 \text{ кг}$$

Масса стали ярма статора по ф-ле. 9.188

$$m_a = \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot \ell_{\delta} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = \pi \cdot (0,23 - 0,0165) \cdot 0,0165 \cdot 0,1 \cdot 0,97 \cdot (7,8 \times 10^3) = 8,37 \text{ кг}$$

Высота ярма статора

$$h_a = 0,5 \cdot (D_a - D) - h_{\text{л}} = 0,5 \cdot (0,23 - 0,161) - 0,0185 = 0,0165 \text{ м}$$

55. Основные потери в стали

$$P_{\text{ст.осн}} = p \cdot 1,50 \cdot \left( \frac{f_1}{50} \right)^{\beta} \cdot (B_a^2 \cdot m_a \cdot \kappa_{\text{да}} + \kappa_{\text{ДЗ}} \cdot B_z^2 \cdot m_{z1}) = 2,5 \cdot \left( \frac{50}{50} \right)^{1,5} \cdot (1,4^2 \cdot 8,3 \cdot 1,6 + 1,8 \cdot 1,6^2 \cdot 3,93) = 123,45 \text{ Вт}$$

Частота вращения ротора равна:

$$n = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Коэффициент учитывающий влияние обработки поверхности головок зубцов ротора на удельные потери  $k_{02} = 1,4$

Найдём коэффициент  $\beta$  из зависимости  $\beta = f(b_{\text{ш}}/d)$

$$\frac{b_{u2}}{\delta} = 6 \beta_{02} = 0,3$$

Амплитуда пульсации индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot \kappa_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0,3 \cdot 0,97 \cdot 0,89 = 0,261 \text{ Тл}$$

56. Удельные поверхностные потери по 9.194

$$p_{\text{пов}2} = 0,5 \cdot \kappa_{02} \cdot \left( \frac{Z_1 \cdot n}{10000} \right)^{1,5} \cdot (B_{02} \cdot t_1 \cdot 10^3)^2 = 0,5 \cdot 1,4 \cdot \left( \frac{54 \cdot 1000}{10000} \right)^{1,5} \cdot (0,261 \cdot 0,0093 \cdot 10^3)^2 = 51,931 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

57. Полные поверхностные потери ротора

$$P_{\text{пов}2} = p_{\text{пов}2} \cdot (t_2 - b_{u2}) \cdot Z_2 \cdot l_{\delta} = 51,931 \cdot (0,0139 - 0,0015) \cdot 36 \cdot 0,1 = 2,32 \text{ Вт}$$

Для определения пульсационных потерь вначале находим амплитуду пульсаций в среднем сечении зубцов ротора (ф-ла 9-196)

$$B_{\text{пуль}2} = \frac{\gamma_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_2} \cdot B_{z2} = \frac{10,3158 \cdot 0,00025}{2 \cdot 0,0139} \cdot 1,8 = 0,168 \text{ Тл}$$

$$m_{z2} = h_{z2} \cdot b_{z2pc} \cdot Z_2 \cdot l_{\delta} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = 0,0307 \cdot 0,0071 \cdot 36 \cdot 0,1 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 5,945 \text{ кг}$$

Пульсационные потери в зубцах ротора по ф-ле. 9.200

$$P_{\text{пуль}2} = 0,11 \cdot \left( \frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{\text{пуль}2} \right)^2 \cdot m_{z2} = 0,11 \cdot \left( \frac{54 \cdot 1000}{1000} \cdot 0,168 \right)^2 \cdot 5,945 = 53,86 \text{ Вт}$$

58. Поверхностные и пульсационные потери в статоре двигателя с короткозамкнутым ротором обычно очень малы, так как в пазах таких роторов ширина шлица ротора небольшая и пульсации индукции в воздушном зазоре над головками зубцов статора незначительны. Поэтому расчёт этих потерь в статоре двигателя не производится.

Сумма добавочных потерь по ф-ле. 9.202

$$P_{\text{ст.доб}} = P_{\text{пуль}2} + P_{\text{пов}2} = 53,86 + 2,32 = 56,18 \text{ Вт}$$

Полные потери в стали по ф-ле. 9.203

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{ст.осн}} + P_{\text{ст.доб}} = 123,45 + 56,18 = 179,63 \text{ Вт}$$

59. Механические потери по ф-ле. 9.210

$$P_{\text{мех}} = K_T \cdot \left(\frac{n}{10}\right)^2 \cdot D_a^4 = 1,001 \cdot \left(\frac{1000}{10}\right)^2 \cdot 0,23^4 = 28,01 \text{ Вт}$$

где  $K_T$  – коэффициент при  $2 p=6$   $K_T = 0.94$

60. Добавочные потери при номинальном режиме.

Добавочные потери возникают за счёт действия потоков рассеяния, пульсаций индукции в воздушном зазоре, ступенчатости кривых распределения МДС обмоток статора и ротора. В короткозамкнутых роторах, кроме того, возникают потери от поперечных токов, то есть токов между стержнями, замыкающихся через листы сердечника ротора. ГОСТ устанавливает средние расчётные добавочные потери при номинальной нагрузке, равные 0.5% номинальной мощности.

$$P_{\text{доб}} = 0.005 \cdot \frac{P_2}{\eta} = 0.005 \cdot \frac{5000}{0.84} = 29,76 \text{ Вт}$$

61. Электрические потери при холостом ходе в обмотке статора по ф-ле. 9.219

$$P_{\text{элх,х}} = m_1 \cdot I_\mu^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 4,0447^2 \cdot 1,2505 = 61,37 \text{ Вт}$$

62. Активная составляющая тока холостого хода по ф-ле. 9.218

$$I_{\text{х,х,а}} = \frac{P_{\text{см}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{элх,х}}}{m_1 \cdot U_{1H}} = \frac{179,6 + 28,012 + 61,37}{3 \cdot 220} = 0,408 \text{ А}$$

63. Ток холостого хода двигателя по ф-ле. 9.217

$$I_{\text{х,х}} = \sqrt{I_{\text{х,х,а}}^2 + I_{\text{ххр}}^2} = \sqrt{0,408^2 + 4,045^2} = 4,065 \text{ А}$$

64. Коэффициент мощности при холостом ходе по ф-ле. 9.221

$$\cos \varphi_{\text{хх}} = \frac{I_{\text{хха}}}{I_{\text{хх}}} = \frac{0,408}{4,065} = 0,1003$$

## 1.7 Расчёт рабочих характеристик

Рабочими характеристиками асинхронного двигателя называют зависимости  $P_1$ ,  $I_1$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\eta$ ,  $s=f(P_2)$ . Методы расчёта характеристик базируются на системе уравнений токов и напряжений асинхронной машины, которой соответствует Г-образная схема замещения. Активные и индуктивные сопротивления схемы замещения являются параметрами машины.

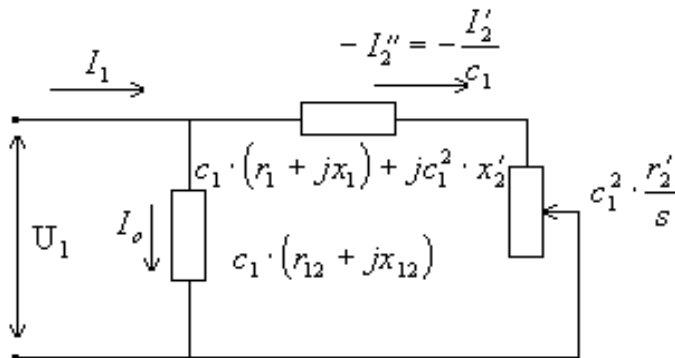


Рис.4

Преобразованная Г-образная схема замещения приведённой асинхронной машины.

Коэффициент  $c_1$  представляет собой взятое обратным знаком отношение вектора напряжения фазы  $U_1$  к вектору ЭДС  $E_1$ , при синхронном вращении машины с учётом сдвига фаз этих векторов.

65. Расчётное сопротивление  $r_{12}$  по ф-лам. 9.184, 9.185

$$r_{12} = \frac{P_{ст.осн}}{m_1 \cdot I_\mu^2} = \frac{123,452}{3 \cdot 4,045^2} = 2,515 \text{ Ом}$$

66. Сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротора

$$x_{12} = \frac{U_{1H}}{I_\mu} - x_1 = \frac{220}{4,045} - 1,64 = 52,752 \text{ Ом}$$

67. Коэффициент  $c_1$  по ф-ле. 9.225.

$$c_1 = \sqrt{c_{1a}^2 + c_{1r}^2} = \sqrt{1,03^2 + 0,025^2} = 1,03$$

Подсчитаем активную составляющую коэффициента  $c_1$  по ф-ле 9-224:

$$c_{1a} = \frac{r_{12}(r_1 + r_{12}) + x_{12} \cdot (x_1 + x_{12})}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = \frac{2,515 \cdot (1,25 + 2,515) + 52,752 \cdot (1,64 + 52,752)}{2,515^2 + 52,752^2} = 1,03$$

а реактивная составляющая

$$c_{1p} = \frac{x_1 \cdot r_{12} + r_1 \cdot x_{12}}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = \frac{1,64 \cdot 2,515 + 1,25 \cdot 52,752}{2,515^2 + 52,752^2} = 0,0251$$

68. Активная составляющая тока синхронного холостого хода по ф-ле. 9.226

$$I_{oa} = \frac{P_{ст.осн} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3 \cdot U_1} = \frac{123,4 + 3 \cdot 4,045^2 \cdot 1,25}{3 \cdot 220} = 0,28 \text{ А}$$

Постоянные коэффициенты по ф-ле. 9.228

$$a' = c_{1a}^2 - c_{1r}^2 = 1,03^2 - 0,0251^2 = 1,06$$

$$b' = 2 \cdot c_{1a} \cdot c_{1r} = 2 \cdot 1,03 \cdot 0,0251 = 0,0519$$

$$a = c_{1a} \cdot r_1 - c_{1r} \cdot x_1 - b' \cdot x_2 = 1,03 \cdot 1,25 - 0,0251 \cdot 1,64 - 0,0519 \cdot 2,061 = 1,1425$$

$$b = c_{1a} \cdot x_1 + c_{1r} \cdot r_1 + a' \cdot x_2 = 1,03 \cdot 1,64 + 0,0251 \cdot 1,25 + 1,0647 \cdot 2,061 = 3,91$$

Потери не меняющиеся при изменении скольжения:  $P_{ст} + P_{мех} = 207,65 \text{ Вт}$

Предварительно принимаем значение номинального скольжения равным:

$$s_H = r_2^* = 0,054$$

69. Приведём подробный расчёт рабочих х-к для по следующим формулам

$$I_{1H} = I_1$$

$$X_i = b + \frac{b^* \cdot r_2^*}{s_i} \quad R_i = a + \frac{a^* \cdot r_2^*}{s_i} \quad Z_i = \sqrt{(R_i)^2 + (X_i)^2} \quad I_i^* = \frac{U_1}{Z_i}$$

$$\cos \phi_i = \frac{R_i}{Z_i} \quad \sin \phi_i^* = \frac{X_i}{Z_i} \quad I_{la1} = I_{oa} + I_i^* \cdot \cos \phi_i^* \quad I_{lp_i} = I_{\mu} + I_i^* \cdot \sin \phi_i^*$$

$$I_{li} = \sqrt{(I_{la_i})^2 + (I_{lp_i})^2} \quad P_{li} = 3 \cdot U_l \cdot I_{la_i} \quad I_1^* = c_l \cdot I_i^* \quad P_{\vartheta_{li}} = 3 \cdot (I_{li})^2 \cdot r_l$$

$$P_{\vartheta_{2i}} = 3 \cdot (I_i')^2 \cdot r_2' \quad P_{дооб.ном} = P_{дооб.ном} \cdot \left( \frac{I_{li}}{I_{1H}} \right) \quad P_i = P_{сТ} + P_{мех} + P_{\vartheta_{1i}} + P_{\vartheta_{2i}} + P_{дооб_i}$$

$$P_{2i} = P_{1i} - P_i \quad \eta_i = 1 - \frac{P_i}{P_{1i}} \quad \cos \phi_i = 1 - \frac{I_{1a_i}}{I_{1i}}$$

# 1. Данные для построения рабочих характеристик

|                  | разм. | Sx.x=    |         |          |          |          |          |          |          |          | Sн=      |          |
|------------------|-------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| s                | о.е.  | 0.00100  | 0.005   | 0.01     | 0.015    | 0.02     | 0.025    | 0.03     | 0.035    | 0.04     | 0.05     | 0.06     |
| R                | Ом    | 66.133   | 15.117  | 9.518    | 7.651    | 6.718    | 6.158    | 5.785    | 5.518    | 5.318    | 5.038    | 4.852    |
| X                | Ом    | 1278.009 | 230.978 | 116.06   | 77.755   | 58.602   | 47.11    | 39.449   | 33.976   | 29.872   | 24.126   | 20.296   |
| Z                | Ом    | 1279.719 | 231.473 | 116.45   | 78.13    | 58.985   | 47.511   | 39.87    | 34.421   | 30.342   | 24.647   | 20.867   |
| $\Gamma^2$       | A     | 0.172    | 0.95    | 1.889    | 2.816    | 3.73     | 4.631    | 5.518    | 6.391    | 7.251    | 8.926    | 10.543   |
| $\cos \phi_2$    | о.е.  | 0.999    | 0.998   | 0.997    | 0.995    | 0.993    | 0.992    | 0.989    | 0.987    | 0.985    | 0.979    | 0.973    |
| $\sin \phi_2$    | о.е.  | 0.052    | 0.065   | 0.082    | 0.098    | 0.114    | 0.13     | 0.145    | 0.16     | 0.175    | 0.204    | 0.233    |
| $I_{1a}$         | A     | 0.452    | 1.228   | 2.163    | 3.082    | 3.986    | 4.872    | 5.74     | 6.589    | 7.419    | 9.018    | 10.534   |
| $I_{1p}$         | A     | 4.054    | 4.107   | 4.199    | 4.32     | 4.47     | 4.645    | 4.845    | 5.069    | 5.316    | 5.869    | 6.496    |
| $I_1$            | A     | 4.079    | 4.287   | 4.723    | 5.307    | 5.988    | 6.731    | 7.511    | 8.313    | 9.126    | 10.76    | 12.376   |
| $P_1$            | Вт    | 298.136  | 810.774 | 1427.54  | 2034.332 | 2630.435 | 3215.209 | 3788.084 | 4348.565 | 4896.222 | 5951.694 | 6952.369 |
| $\Gamma_2$       | A     | 0.177    | 0.981   | 1.951    | 2.907    | 3.851    | 4.781    | 5.697    | 6.599    | 7.486    | 9.216    | 10.885   |
| $P_{\Sigma 1}$   | Вт    | 62.408   | 68.932  | 83.699   | 105.668  | 134.53   | 169.967  | 211.653  | 259.261  | 312.458  | 434.302  | 574.569  |
| $P_{\Sigma 2}$   | Вт    | 0.102    | 3.118   | 12.319   | 27.367   | 48.015   | 74.01    | 105.091  | 140.997  | 181.463  | 275.014  | 383.648  |
| $P_{\text{доб}}$ | Вт    | 4.093    | 4.521   | 5.489    | 6.93     | 8.823    | 11.147   | 13.881   | 17.003   | 20.492   | 28.483   | 37.683   |
| $\Sigma P$       | Вт    | 274.251  | 284.219 | 309.155  | 347.613  | 399.016  | 462.771  | 538.274  | 624.909  | 722.061  | 945.447  | 1203.548 |
| $P_2$            | Вт    | 23.885   | 526.556 | 1118.385 | 1686.719 | 2231.419 | 2752.438 | 3249.811 | 3723.655 | 4174.161 | 5006.247 | 5748.821 |
| $\eta$           | о.е.  | 0.08     | 0.649   | 0.783    | 0.829    | 0.848    | 0.856    | 0.858    | 0.856    | 0.853    | 0.841    | 0.827    |
| $\cos \phi$      | о.е.  | 0.111    | 0.287   | 0.458    | 0.581    | 0.666    | 0.724    | 0.764    | 0.793    | 0.813    | 0.838    | 0.851    |

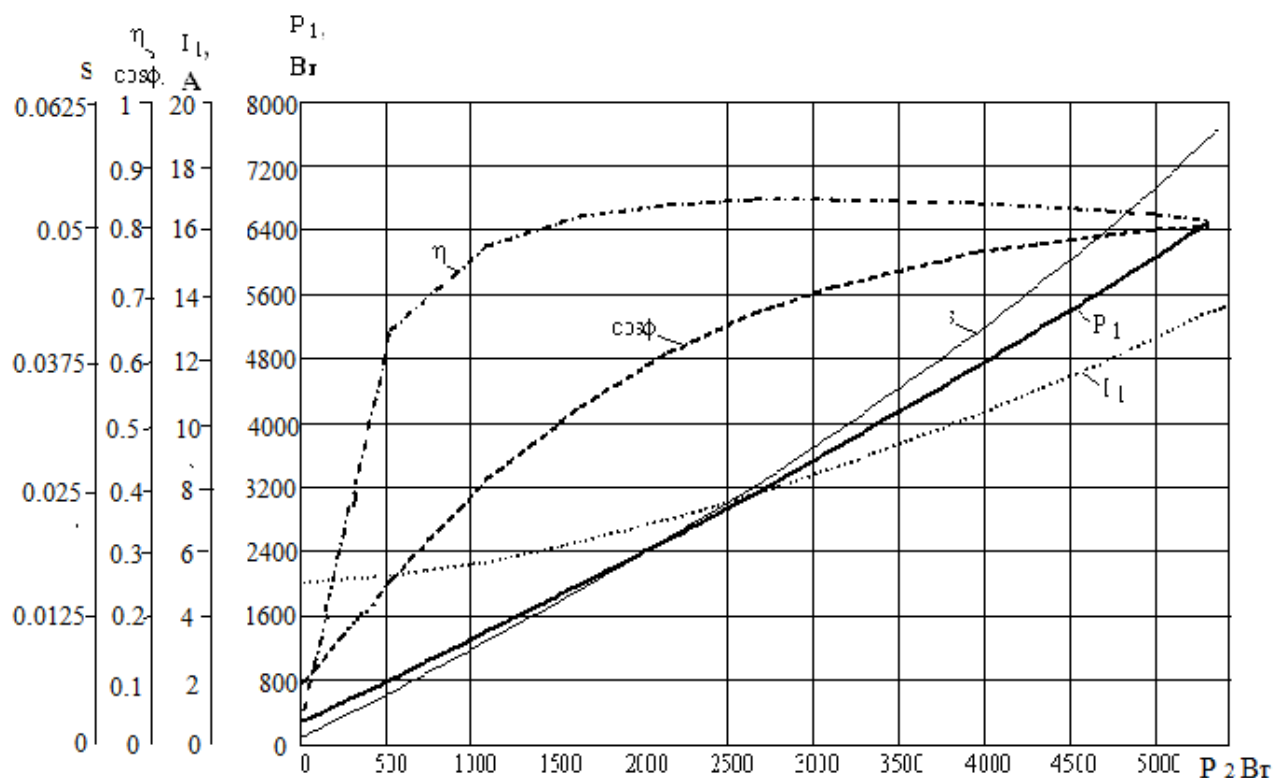


Рис. 5 Рабочие характеристики

После построения рабочих характеристик уточняем значение номинального скольжения  $s_H = 0.05$  и определяем основные параметры проектируемого двигателя:  $P_2 = 5000 \text{ Вт}$ ;  $I_1 = 10.76 \text{ А}$ ;  $\cos \varphi = 0.838$ ;  $B > 340$ ;  $\eta = 0.841$

### 1.8 Пусковые характеристики

Произведём расчёт пусковых характеристик. Рассчитаем точки характеристик соответствующие скольжениям

Таблица. 2

|                                      |   |     |     |     |     |     |     |      |     |      |       |
|--------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-------|
| $\begin{matrix} T \\ s \end{matrix}$ | 1 | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8    | 9   | 10   | 11    |
| 0                                    | 1 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.25 | 0.1 | 0.05 | 0.001 |

70. Подробный расчёт приведён для скольжения  $s=1$ .

Высоту стержня впаза

$$I_{l_0} = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2^*}{s_0}\right)^2 + (x_2^* + x_1)^2}} = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2^*}{s_0}\right)^2 + (x_2^* + x_1)^2}} = 50,31$$

71. Учёт влияния насыщения на параметры. Принимаем для  $s=1$  коэффициент насыщения  $k_{нас}=1,3$  и проводим расчёт для

$$a = 1 \quad k_{нас} = 1,3$$

Определим по ф-ле 9-263 среднюю МДС обмотки, отнесённую к одному пазу обмотки статора:

$$F_{л.ср.о} = 0,7 \frac{k_{нас} \cdot I_o \cdot U_{л}}{a} \left( 1 + K_{об1} \frac{Z_1}{Z_2} \right) = 0,7 \frac{1,3 \cdot 50,306 \cdot 23}{1} \cdot \left( 1 + 0,96 \cdot \frac{54}{36} \right) = 2569 A$$

72. по ф-ле 9-265 определим значение коэффициента  $C_N$ :

$$C_N = 0,64 + 2,8 \sqrt{\frac{\delta}{t_1 + t_2}} = 0,64 + 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,00025}{0,0093 + 0,0139}} = 0,089$$

73. По средней МДС рассчитаем фиктивную индукцию потока рассеяния в воздушном зазоре по ф-ле 9-264

$$B_{\phi\delta_o} = \frac{F_{л.ср.о} \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot \delta \cdot C_N} = \frac{2569 \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 0,00025 \cdot 0,089} = 7,141 \text{ Тл}$$

По рис.9-61 для  $B_{\phi\delta_1} = 7,141$  находим  $x_{\delta_1} = 0,366$

74. Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения найдём по ф-ле 9-255.

$$b_{и} = 3,5 \times 10^{-3} c_1 = 1,03$$

$$c_{l_o} = (t_1 - b_{и}) \cdot (1 - x_{\delta_o}) = (0,0093 - 3,5 \times 10^{-3}) \cdot (1 - 0,556) = c_{l_1} = 0,0037$$

75. Для полузакрытого паза по ф-ле 9-269

$$h_{л} = 0,0185 м \quad h_1 = 0,0177 м \quad h_{и} = 5 \times 10^{-4} м$$

$$h' = h_{л} - h_1 - h_{и} = 0,0185 - 0,0177 - 5 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-4}$$

$$\Delta \lambda_{л1нас_o} = \frac{h_{и} + 0,58 \cdot h'}{b_{и}} \cdot \frac{c_{l_o}}{c_{l_o} + 1,5 \cdot b_{и}} = \frac{0,001 + 0,58 \cdot 0,0004}{0,0035} \cdot \frac{0,0026}{0,004 + 1,5 \cdot 0,0035} = 0,0794$$

76. Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния для статора определим по ф-ле 9-272

$$\lambda_{Пнас_o} = \lambda_{П} - \Delta\lambda_{Пнас_o} = 1,8079 - 0,0794 = 1,7284$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения вычислим по ф-ле 9-274

$$\lambda_{Днас_o} = \lambda_{Д} \cdot x_{\delta_o} = 1,561 \cdot 0,366 = 0,571$$

77. Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора с учётом влияния насыщения подсчитаем по ф-ле 9-275

$$x_{нас_o} = x_l \cdot \frac{\lambda_{Пнас_o} + \lambda_{Днас_o} + \lambda_{\pi}}{\lambda_{\pi} + \lambda_{Д} + \lambda_{\pi}} = 1,325 \cdot \frac{0,6002 + 0,974 + 0,866}{0,73 + 1,753 + 0,866} = 1,238$$

78. Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния ротора с учётом влияния насыщения найдём по ф-ле 9-271:

$$\Delta\lambda_{П2нас_o} \frac{h_{ш2}}{b_{ш2}} \cdot \frac{c_{2_o}}{b_{ш2} + c_{2_o}} = \frac{0,001}{0,0015} \cdot \frac{0,0079}{0,0015 + 0,0079} = 0,56$$

По ф-ле 9-273 для ротора :

$$\lambda_{П2\xi нас_o} = \lambda_{П} - \Delta\lambda_{П2нас_o} = 1,8079 - 0,56 = 1,2478$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния ротора с учётом влияния насыщения вычислим по ф-ле 9-274:

$$\lambda_{Д2нас_o} = \lambda_{Д2} \cdot x_{\delta_o} = 4,9215 - 0,366 = 1,8001$$

79. Приведённое индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора с учётом влияния тока и насыщения найдём по ф-ле 9-276:

$$x'_{2\xi нас_o} = x'_2 \cdot \frac{\lambda_{П2\xi нас_o} + \lambda_{Д2нас_o} + \lambda_{\pi2}}{\lambda_{Д2} + \lambda_{\pi2} + \lambda_{П2}} = 2,0609 \cdot \frac{1,2478 + 1,8001 + 0,4136}{4,9215 + 0,4136 + 2,8008} = 0,877$$

$$x_{12П} = x_{12} \cdot \frac{F_{\psi}}{F_{\delta}} = 52,7516 \cdot \frac{723,3926}{524,3754} = 72,77$$

80. При этом допущение коэффициента рассчитывается по ф-ле 9-277.

$$c_{Пнас_o} = 1 + \frac{x_{нас_o}}{x_{12П}} = 1 + \frac{1,238}{72,77} = 1,017$$

81. Расчёт токов и моментов по ф-ле 9-277.

$$R_{\Pi_o} = r_1 + \frac{c_{\Pi_{нас_o}} \cdot r_2'}{s_o} = 1,25 + \frac{1,017 \cdot 1,079}{1} = 2,34 \text{ Ом}$$

$$X_{\Pi_o} = x_{\Pi_{нас_o}} + c_{\Pi_{нас_o}} \cdot x_{2\xi_{нас_o}}' = 1,238 + 1,017 \cdot 0,877 = 2,13$$

82. Ток в обмотке ротора вычислим по ф-ле 9-281

$$I_{2_o}' = \frac{U_1}{\sqrt{(R_{\Pi_o})^2 + (X_{\Pi_o})^2}} = \frac{220}{\sqrt{(2,348)^2 + 2,13^2}} = 69,4 \text{ А}$$

Ток в обмотке статора вычислим по ф-ле 9-283

$$I_{1_o} = I_{2_o}' \cdot \frac{\sqrt{(R_{\Pi_o})^2 + (X_{\Pi_o} + x_{12\Pi})^2}}{x_{12\Pi} \cdot c_{1\Pi_{нас_o}}} = 69,4 \cdot \frac{\sqrt{(2,348)^2 + (2,13 + 72,773)^2}}{72,773 \cdot 1,017} = 70,27 \text{ А}$$

Относительное значение

$$I_{1_o} = \frac{I_{1_o}}{I_{1н}} = \frac{70,27}{10,76} = 6,53 \quad \text{при этом} \quad k_{нас} = \frac{I_{1_o}}{I_1'} = \frac{70,27}{50,306} = 1,397$$

$$M_{\Pi_o} = \left( \frac{I_{2_o}'}{I_{2н}'} \right)^2 + \left( \frac{s_n}{s_o} \right) = \left( \frac{69,4}{9,216} \right)^2 \cdot \left( 1,0517 \cdot \frac{0,05}{1} \right) = 2,835$$

Таблица. 3 Данные для построения пусковых характеристик

|          | разм. |         |          |          |         |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|-------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| s        |       | 1       | 0.9      | 0.8      | 0.7     | 0.5      | 0.4      | 0.3      | 0.25     | 0.1      | 0.05     | 0.001    |
| Гп.ср    | А     | 2569.07 | 2531.416 | 2484.137 | 2423.34 | 2232.808 | 2075.948 | 1842.003 | 1680.487 | 891.7009 | 485.6297 | 10.3972  |
| ВФδ      | Тл    | 7.1414  | 7.0367   | 6.9053   | 6.7363  | 6.2066   | 5.7706   | 5.1203   | 4.6713   | 2.4787   | 1.3499   | 0.0289   |
| хδ       |       | 0.3658  | 0.3689   | 0.3747   | 0.3832  | 0.4097   | 0.4338   | 0.4728   | 0.5129   | 0.803    | 0.935    | 0.9991   |
| с1       | м     | 0.0037  | 0.0037   | 0.0036   | 0.0036  | 0.0034   | 0.0033   | 0.0031   | 0.0028   | 1.10E-03 | 3.78E-04 | 5.04E-06 |
| λп1нас   |       | 1.7284  | 1.7287   | 1.7291   | 1.7297  | 1.7318   | 1.7337   | 1.7369   | 1.7404   | 1.7734   | 1.7949   | 1.8077   |
| λд1нас   |       | 0.5709  | 0.5758   | 0.585    | 0.5981  | 0.6395   | 0.6771   | 0.738    | 0.8006   | 1.2534   | 1.4595   | 1.5596   |
| х1нас    | Ом    | 1.2379  | 1.2398   | 1.2434   | 1.2486  | 1.2649   | 1.2798   | 1.3039   | 1.3287   | 1.5115   | 1.5971   | 1.6395   |
| с2       | м     | 0.0079  | 0.0078   | 0.0078   | 0.0077  | 0.0073   | 0.007    | 0.0065   | 0.006    | 2.40E-03 | 8.07E-04 | 1.08E-05 |
| λп2ξнас  | А     | 1.2478  | 1.2483   | 1.2491   | 1.2504  | 1.2544   | 1.2584   | 1.2654   | 1.2736   | 1.3946   | 1.5746   | 1.8031   |
| λд2нас   | Вт    | 1.8001  | 1.8155   | 1.8443   | 1.8859  | 2.0162   | 2.1348   | 2.3268   | 2.5241   | 3.9519   | 4.6017   | 4.9173   |
| х'п2ξнас | А     | 0.8768  | 0.8809   | 0.8883   | 0.8992  | 0.9332   | 0.9643   | 1.0147   | 1.0668   | 1.4591   | 1.6693   | 1.8071   |
| с1п      |       | 1.017   | 1.017    | 1.0171   | 1.0172  | 1.0174   | 1.0176   | 1.0179   | 1.0183   | 1.0208   | 1.0219   | 1.0225   |
| Рп.нас   | Ом    | 2.3482  | 2.4702   | 2.6227   | 2.8189  | 3.4467   | 3.9963   | 4.9128   | 5.6467   | 12.2681  | 23.3112  | 1104.915 |
| Хп.нас   | Ом    | 2.1296  | 2.1357   | 2.1469   | 2.1632  | 2.2143   | 2.261    | 2.3368   | 2.415    | 3.0008   | 3.303    | 3.4873   |
| Г2нас    | А     | 69.3997 | 67.3732  | 64.9089  | 61.9157 | 53.7017  | 47.9139  | 40.4397  | 35.8222  | 17.4191  | 9.3442   | 0.1991   |
| Πнас     | А     | 70.2704 | 68.2257  | 65.7415  | 62.725  | 54.4478  | 48.6176  | 41.0912  | 36.4497  | 17.9997  | 9.9972   | 2.9635   |
| Π'       |       | 6.5309  | 6.3409   | 6.11     | 5.8297  | 5.0604   | 4.5185   | 3.819    | 3.3876   | 1.6729   | 0.9291   | 0.2754   |
| М'       |       | 2.8354  | 2.9691   | 3.1004   | 3.224   | 3.3955   | 3.3788   | 3.2092   | 3.0218   | 1.7863   | 1.028    | 0.0233   |

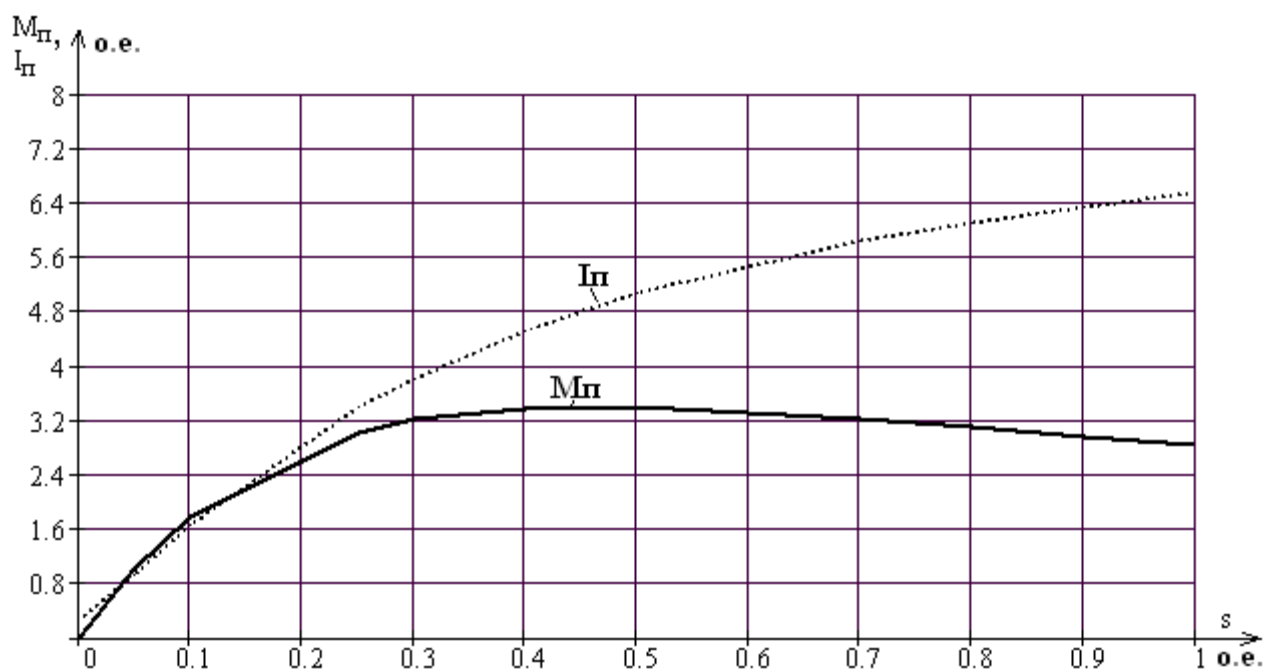


Рис.6 Пусковые характеристики

73. Критическое скольжение определяем после расчёта всех точек пусковых характеристик :

$$s_{кр} = \frac{r'_2}{\frac{x_{1нас}}{c_{1Пнас}} + x'_{2\xi нас}} = \frac{1,079}{\frac{1,329}{1,018} + 1,067} = 0,46$$

Спроектированный асинхронный двигатель удовлетворяет требованиям как по энергетическим, так и по пусковым характеристикам.

## 2. Тепловой расчёт

На первоначальной стадии проектирования достаточно достоверную оценку теплового режима двигателя даёт приближённый метод теплового расчёта, основанный на упрощённом представлении о характере тепловых связей между элементами электрической машины. В нём используются средние значения коэффициентов теплоотдачи с поверхности и теплопроводности изоляции,

характерные для определённой конструкции и технологии производства двигателей данного типа.

Тепловой расчёт будем проводить только для статора. При расчёте используются потери, полученные для номинального режима, но потери в обмотке статора несколько увеличиваются по сравнению с расчётными. Предполагается, что обмотка может быть нагрета до предельно допустимой для принятого класса изоляции температуры.

Коэффициент теплоотдачи с поверхности найдём по рис. 9-67(а) для  $Da=0,23$   $\alpha_1 = 90$

Коэффициент учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину непосредственно в окружающую среду найдём по таб. 9-35.

$$K = 0,19$$

74. Электрические потери в обмотке статора в пазовой части найдём по ф-ле 9-313 (с учётом того, что изоляция обмотки класса нагревостойкости В)

$$P'_{\varepsilon, n1} = 1,15 \cdot P'_{\varepsilon 1} \cdot \frac{2 \cdot \ell_{\delta}}{\ell_{cp}} = 1,15 \cdot 434,3 \cdot \frac{2 \cdot 0,1}{0,502} = 199,1 \text{ Вт}$$

75. Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри двигателя по ф-ле. 9.315

$$\Delta\theta_{нов1} = K \cdot \frac{P'_{\varepsilon, n1} + P_{ст.осн}}{\pi \cdot D \cdot \ell_{\delta} \cdot \alpha_1} = 0,19 \cdot \frac{199,1 + 126}{\pi \cdot 0,16 \cdot 0,1 \cdot 90} = 13,55^{\circ} \text{C}$$

76. Расчётный периметр поперечного сечения паза статора для полужакрытых трапецеидальных пазов

рассчитывается по ф-ле 9-317

$$P_{п1} = 2 \cdot h_{п1} + b_{1c} + b_{2c} = 2 \cdot 0,0185 + 0,0063 + 0,0042 = 0,0475 \text{ м}$$

77. Средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции находится по рис. 9-69, исходя из соотношения:

$$d_{из} = 0,0016 \quad d_{эл} = 0,0015 \quad \frac{d_{эл}}{d_{из}} = 0,9464 \quad \lambda'_{экв} = 1,3$$

Для класса нагревостойкости В:

$$\lambda_{\text{эКВ}} = 0,16$$

78. Перепад температуры в изоляциипазовой части обмотки статора по ф-ле. 9.316

$$\Delta\theta_{\text{из,н1}} = \frac{P'_{\text{э,н1}}}{Z_1 \cdot \Pi_{\text{н1}} \cdot \ell_{\delta}} \cdot \left( \frac{b_{\text{из}}}{\lambda_{\text{эКВ}}} + \frac{b_{1c} + b_{2c}}{16 \cdot \lambda'_{\text{эКВ}}} \right) = \frac{199,1}{54 \cdot 0,0475 \cdot 0,1} \cdot \left( \frac{0,0016}{0,16} + \frac{0,0063 + 0,0042}{16 \cdot 1,3} \right) = 1,6^{\circ}\text{C}$$

79. Электрические потери в обмотке статора в пазовой части найдём по ф-ле 9-314 ( с учётом того, что изоляция обмотки класса нагревостойкости В)

$$P'_{\text{эл1}} = 1,15 \cdot P'_{\text{эл}} \cdot \frac{2 \cdot 1_{\pi}}{1_{\text{ср}}} = 1,15 \cdot 434,3 \cdot \frac{2 \cdot 0,151}{0,502} = 300,34 \text{ Вт}$$

80. По ф-ле 9-319 подсчитаем перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей. т.к. отсутствует изоляция в лобовых частях, то односторонняя изоляция лобовой части катушки  $b_{\text{из.р}} = 0,0004 \text{ м}$

$$\Delta\theta_{\text{из,н1}} = \frac{P'_{\text{эл1}}}{Z_1 \cdot \Pi_{\text{л1}} \cdot l_{\pi} \cdot 2} \cdot \frac{h_{\text{л}}}{12 \cdot \lambda'_{\text{эКВ}}} = \frac{300,34}{54 \cdot 0,0475 \cdot 0,151 \cdot 2} \cdot \frac{0,019}{12 \cdot 1,3} = 0,46^{\circ}\text{C}$$

Превышение температуры наружной поверхности изоляции лобовых частей обмотки над температурой воздуха внутри машины

$$\Delta\theta_{\text{пов.л1}} = \frac{K \cdot P'_{\text{эл1}}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot \ell_{\text{выл}} \cdot \alpha_1} = \frac{0,19 \cdot 300,34}{2 \cdot \pi \cdot 0,16 \cdot 0,057 \cdot 90} = 11,12^{\circ}\text{C}$$

81. Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри машины найдём по ф-ле 9-321

$$\Delta\theta'_1 = \frac{(\Delta\theta_{\text{нов1}} + \Delta\theta_{\text{из,н1}}) \cdot 2 \cdot \ell_{\delta}}{\ell_{\text{ср}}} + \frac{(\Delta\theta_{\text{из,л1}} + \Delta\theta_{\text{пов,л1}}) \cdot 2 \cdot \ell_{\pi}}{\ell_{\text{ср}}} = \frac{(13,55 + 1,61) \cdot 2 \cdot 0,1}{0,502} + \frac{(11,12 + 0,46) \cdot 2 \cdot 0,151}{0,502} = 13^{\circ}\text{C}$$

Среднее значение периметра поперечного сечения рёбер корпуса А.Д

$$\Pi_p = 0,28$$

82. Эквивалентная поверхность охлаждения корпуса с учётом поверхности рёбер станины находим по ф-ле 6-327

$$S_{\text{кор}} = (\pi \cdot D_a + 8 \cdot \Pi_p) \cdot (\ell_{\delta} + 2 \cdot \ell_{\text{выл}}) = (\pi \cdot 0,23 + 8 \cdot 0,28) \cdot (0,1 + 2 \cdot 0,57) = 0,63 \text{ м}^2$$

Из таб. расчёта рабочих характеристик для  $S = S_{\text{ном}}$  выбираем

$$\Sigma P = 945 \text{ Вт} \quad P'_{\text{э1}} = 434 \text{ Вт} \quad P'_{\text{э2}} = 275 \text{ Вт}$$

83. По ф-ле 9-324 рассчитаем

$$P' = \Sigma P + (1,15 - 1) \cdot (P'_{\text{э1}} + P'_{\text{э2}}) = 945 + (1,15 - 1) \cdot (434 + 275) = 1052$$

84. Сумму потерь отводимых в воздух внутри машины подсчитаем

по ф-ле 9-326:

$$P'_\text{в} = P' - (1 - K) \cdot (P'_{\text{э.пл}} + P_{\text{ст.осн}}) - 0,9 \cdot P_{\text{мех}} = 1052 - (1 - 0,19) \cdot (199,1 + 123,4) - 0,9 \cdot 28 = 765 \text{ Вт}$$

85. Коэффициент подогрева учитывающий теплоотдающую способность поверхности корпуса и интенсивность перемешивания воздуха внутри машины найдём по рис. 9-67(а)

$$a_\text{в} = 24 \frac{Bm}{M^2 \cdot C}$$

86. Превышение температуры воздуха внутри машины над температурой окружающей среды по ф-ле. 9.322

$$\Delta \theta_\text{в} = \frac{P'_\text{в}}{S_{\text{кор}} \cdot \alpha_\text{в}} = \frac{765}{0,63 \cdot 24} = 50,43^\circ \text{C}$$

87. Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды подсчитывается по ф-ле 9-328

$$\Delta \theta_1 = \Delta \theta_\text{в} + \Delta \theta'_1 = 63,43^\circ \text{C}$$

Как видим превышение температуры обмотки статора над окружающей средой находится в пределах допустимого для класса изоляции В < 80 °С

## 2.1 Расчёт вентиляции

88. Коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения по длине поверхности корпуса, обдуваемого наружным вентилятором

Для двигателей с  $2p=6$  и  $h=132$

$$k_m = m \sqrt{\frac{n}{100}} \cdot D_a = 3,15 \cdot \sqrt{\frac{1000}{100}} \cdot 0,23 = 4,78$$

89. Требуемый для охлаждения расход воздуха подсчитаем по ф-ле. 9-340

$$Q_B = \frac{k_m \cdot P'_B}{1100 \cdot \Delta \nu_B} = \frac{4,78 \cdot 445}{1100 \cdot 31,97} = 0,0659$$

90. Расход воздуха обеспечиваемый наружным вентилятором рассчитаем по ф-ле 9-342:

$$Q'_B = 0,6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n}{100} = 0,6 \cdot 0,23^3 \cdot \frac{1000}{100} = 0,73$$

Так как  $Q'_B > Q_B$

то вентиляционный и тепловой расчёт выполнены правильно.

### 3. Механический расчёт вала

Асинхронный двигатель выполнен с горизонтальным расположением вала. В этом случае вал несёт на себе всю массу вращающихся частей, через него передаётся вращающий момент машины. При сочленении машины с исполнительным механизмом через ремённую и зубчатую передачу, а также и через муфту на вал действуют дополнительные изгибающие силы. Кроме того, на вал могут действовать силы одностороннего магнитного притяжения, вызванные магнитной несимметрией, усилия, появляющиеся из-за наличия небаланса вращающихся частей, а также усилия, возникающие при появлении крутильных колебаний. Правильно сконструированный вал должен быть достаточно прочным, чтобы выдержать все действующие на него нагрузки без появления остаточных деформаций. Вал также должен иметь достаточную жёсткость, чтобы при работе машины ротор не задевал о статор. Критическая частота вращения вала должна быть значительно больше рабочих частот вращения машины. Основные размеры вала равны размерам вала серийной модели. Конструкция вала приведена на рисунке.

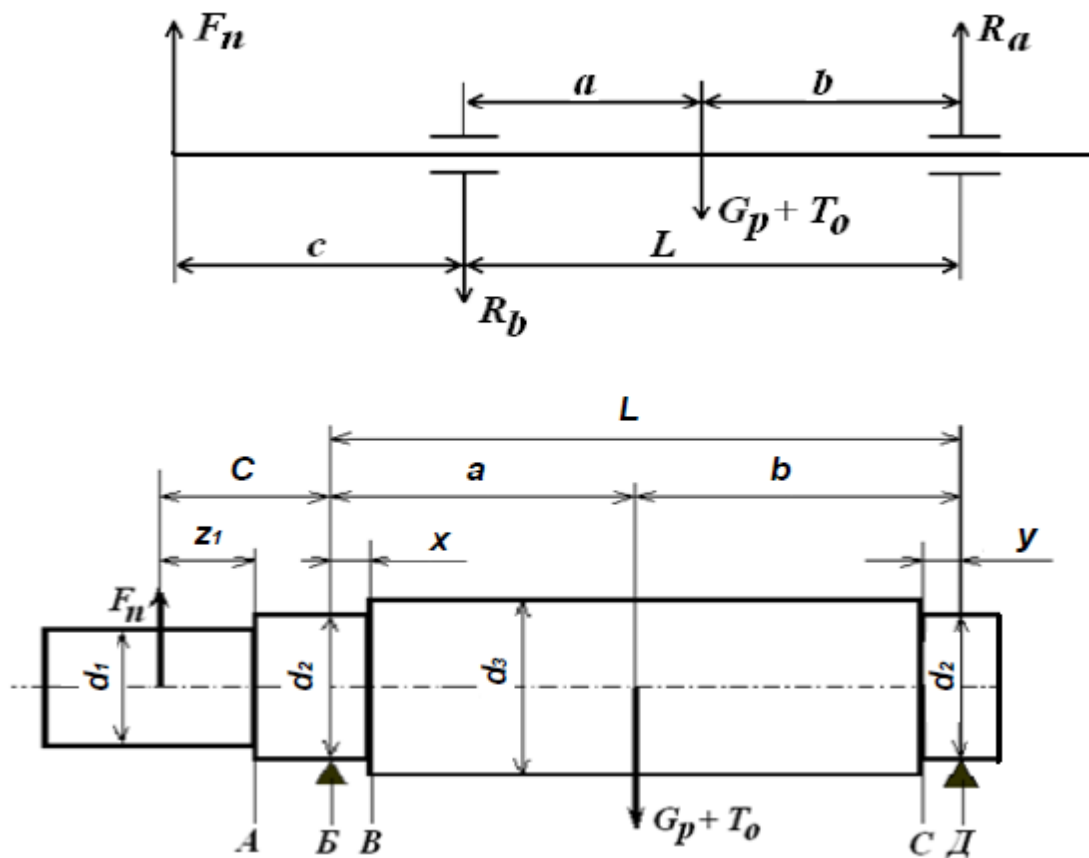


Рис.7 Конструкция и основные размеры вала

91. Определяем номинальный момент вращения двигателя

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n \cdot (1 - s_n)} = 9,55 \cdot \frac{5000}{1000 \cdot (1 - 0,05)} = 50,263 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Принимаем диаметр конца вала согласно моменту

$$d_1 = 38 \text{ мм}$$

Далее определяем по таблице диаметр под подшипник  $d_2$  и диаметр вала за

подшипником  $d_2 = 45 \text{ мм}$   $d_3 = 53 \text{ мм}$

Принимаем остальные размеры

$$l = 280 \text{ мм} \quad a = 140 \text{ мм} \quad b = 140 \text{ мм}$$

$$X = 14 \text{ мм} \quad y = 14 \text{ мм} \quad c = 75 \text{ мм}$$

92. Определяем силу тяжести сердечника:

$$G_2 = (64 \cdot D^2 \cdot l_s) \cdot 10^{-6} = (64 \cdot 160^2 \cdot 100) \cdot 10^{-6} = 163,84 \text{ Н}$$

93. Определяем экваториальный момент инерции вала

$$J = \pi \cdot \frac{d_2^4}{64} = 3,14 \frac{45^4}{64} = 2,013 \times 10^5 \text{ мм}^4$$

94. Определяем величины

$$S_a = \frac{b^3 - y^3}{J} = \frac{140^3 - 14^3}{2,013 \times 10^5} = 13,62 \quad S_b = \frac{a^3 - x^3}{J} = \frac{140^3 - 14^3}{2,013 \times 10^5} = 13,62$$

$$S_o = \frac{a^2 - x^2}{J} = \frac{140^2 - 14^2}{2,013 \times 10^5} = 0,096$$

95. Далее определяем прогиб вала по середине сердечника при модуле упругости

$$E = 2,06 \times 10^{11}$$

$$f_T = \frac{G_2 \cdot (a^2 \cdot S_b + b^2 \cdot S_a) \cdot 10^6}{3E \cdot l^2} = \frac{163,84 \cdot (140^2 \cdot 13,62 + 14^2 \cdot 13,62) \cdot 10^6}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 280^2} = 0,0018 \text{ мм}$$

96. Находим силу от передачи, при передаче упругой муфтой при

$$r = 100 \text{ мм} \quad k_{II} = 0,3$$

$$F_{II} = \left( \frac{k_{II} \cdot M_2}{r} \right) \cdot 10^3 = \left( 0,3 \frac{50,26}{100} \right) \cdot 1000 = 150,79 \text{ Н}$$

97. Тогда прогиб вала от поперечные силы передачи будет равен

$$f_{II} = F_{II} \cdot c \left[ (1,5 \cdot 1 \cdot S_o - S_b) \cdot a + b \cdot S_a \right] \cdot \frac{10^6}{3 \cdot E \cdot l^2} = 150,79 \cdot 75 \cdot \frac{(1,5 \cdot 280 \cdot 0,096 - 13,61) \cdot 140 + 140 \cdot 13,61}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 280^2} = 0,0013$$

98. Находим эксцентриситет сердечника ротора

$$e = 0,15\delta + f_T + f_{II} = 0,15 \cdot 0,25 + 0,0018 + 0,0013 = 0,0406 \text{ мм}$$

99. Потом находим одностороннее магнитное притяжение

$$T_0 = 0,1 \cdot D \cdot l_\delta \cdot \frac{e}{\delta} = 0,1 \cdot 160 \cdot 100 \cdot \frac{0,0406}{0,25} = 260,02 \text{ Н}$$

100. Тогда дополнительный прогиб от силы  $T_0$  будет равен

$$f_0 = f_T \cdot \frac{T_0}{G_2} = 0,0018 \cdot \frac{260,02}{188,41} = 0,0029 \text{ мм}$$

101. Под действием силы магнитного притяжения, установившейся прогиб будет равен

$$f_m = 1 - \frac{f_0}{e} = 1 - \frac{0,0029}{0,0406} = 0,0031 \text{ мм}$$

102. Тогда суммирующий прогиб равен

$$f = f_{II} + f_T + f_m = 0,0013 + 0,0018 + 0,0031 = 0,0062 \text{ мм}$$

103. Результирующий прогиб вала не должен превышать 12% от

$$\frac{f}{\delta} = \frac{0,0062}{0,25} = 2,48\%$$

### 3.1 Определение критической частоты вращения

104. Находим прогиб от силы тяжести, для этого находим силу тяжести

муфты при  $m_m = 6,97$

$$F_c = 9,81 \cdot \frac{m_m}{2} = 34,19 \text{ Н}$$

$$f_c = f_{II} \cdot \frac{F_c}{2F_{II}} = 0,0013 \cdot \frac{34,19}{2 \cdot 150,79} = 0,00015 \text{ мм}$$

105. Критическая частота вращения равна

$$n_k = 950 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{f_0}{e}}{f_T + f_c}} = 950 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{0,0029}{0,0406}}{0,0018 + 0,00015}} = 20713 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Как видим эта величина превышает номинальную скорость вращения вала более чем на 30%

106. Расчет вала на прочность

Находим значение  $z_1$  для муфты  $L = 165 \text{ мм}$   $l_1 = 32 \text{ мм}$

$$z_1 = \frac{L}{2} + \frac{l_1}{2} = \frac{165}{2} + \frac{32}{2} = 98,5 \text{ мм}$$

107. Находим изгибающий момент

$$M_c = 2 \cdot (F_{II} + F_c) \cdot z_1 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot (150,79 + 34,19) \cdot 98,5 \cdot 10^{-3} = 36,441 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент кручения равен  $M_k = 2 \cdot M_2$   $M_k = 100,53 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Момент сопротивления при изгибе  $\omega = 0,1 \cdot d_2^3 = 9113 \text{ мм}^3$

108. Далее находим приведенное напряжение

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{\left(\sqrt{M_c^2 + M_k^2}\right) \cdot 10^9}{\omega} = \frac{10^9 \cdot \sqrt{36,441^2 + 105,05^2}}{9113} = 1,1734 \times 10^7$$

### 3.2 Выбор подшипников

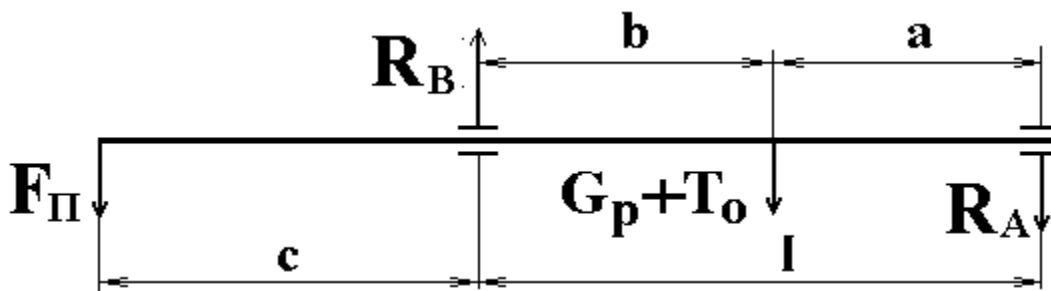


Рис.8 Радиальные реакции подшипников

Для стали 45 предел текучести равен т. е. соответствует нормам  $\sigma = 3,5 \cdot 10^8$

Выбираем подшипники согласно диаметру  $d_2 = 45 \text{ мм}$ , шарикоподшипники радиальные однорядковые средняя серия 309

Наиболее нагруженным является сечение А.

Проверочный расчет подшипника качения на долговечность.

109. При определении радиальной нагрузки подшипниках RA и RB исходим из наихудшего случая

$$R_A = F_i \cdot \frac{C}{l} + (G_p + T) \cdot \frac{b}{l} = 150 \cdot \frac{0,075}{0,1} + (163,8 + 260) \cdot \frac{0,14}{0,1} = 227,177 \text{ Н}$$

110. Приведенная динамическая нагрузка

$$Q_A = k_i \cdot R_A = 1,5 \cdot 227,177 = 340,765 \text{ Н}$$

где  $k_H = 1,5$  - коэффициент, учитывающий характер нагрузки двигателя, при нагрузке с умеренными толчками.

111. Динамическая грузоподъемность подшипника

$$C = \frac{Q_A}{25,6} \cdot (L \cdot n)^{1/3} = \frac{340,765}{25,6} \cdot (20000 \cdot 1500)^{1/3} = 4136 \text{ Н}$$

Где  $n=1500$  об/мин,  $L = 20000$  ч срок службы подшипника.

Выбрали шарикоподшипник средней серии 309.

112. Радиальная нагрузка на подшипник

$$R_A = F_i \cdot \frac{1+C}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{a}{l} = 150 \cdot \frac{1+0,075}{0,1} + (163,8 + 260) \cdot \frac{0,14}{0,1} = 484,177 \text{ Н}$$

113. Приведенная динамическая нагрузка на опору Б

$$Q_A = k_i \cdot R_A = 1,5 \cdot 484,177 = 726,265 \text{ Н}$$

114. Динамическая грузоподъемность

$$C_A = \frac{Q_A}{25,6} \cdot (L \cdot n)^{1/3} = \frac{726,265}{25,6} \cdot (20000 \cdot 1500)^{1/3} = 8815 \text{ Н}$$

Из приведенного расчета следует, что шарикоподшипник 309 средней серии подходит для спроектированного двигателя по найденной динамической грузоподъемности наиболее нагруженной опоры.

#### 4. Специальная часть

Пуско–тормозные и регулировочные резисторы в крановых электроприводах используются при параметрических методах регулирования. Получение механических характеристик, обеспечивающих заданные показатели регулирования и требуемые пуско–тормозные диаграммы переходных режимов, достигается введением активных сопротивлений в цепи обмоток ротора двигателей. Реактивные сопротивления в крановых электроприводах не нашли практического применения. При расчете и выборе резисторов для главных цепей электроприводов одновременно должны решаться две задачи:

1. обеспечение необходимых механических характеристик, реализующих требуемый уровень ускорения;

2. обеспечение соответствия теплового режима резисторов режиму работы двигателя.

Для выполнения первого условия определяются значения ступеней сопротивления, соответствующие получению необходимых абсолютных значений пусковых моментов электродвигателя. Для выполнения второго условия необходимо определить соответствующую рассеиваемую мощность резистора в целом (выбрать режим продолжительности включения при этой мощности и установить необходимую нагрузку отдельных ступеней резисторов). Среднее значение нагрузки резисторов крановых электроприводов не может быть однозначно установлено в связи с тем, что режим работы, как электропривода, так и резисторов весьма неопределенный, зависящий от многих факторов. Целью специальной части является – выбор типового комплекта – ящика резисторов для пуска асинхронного кранового двигателя с фазным ротором. Этот же ящик, при необходимости, может быть использован и для параметрического регулирования скорости двигателя. При этом расчет ступеней резисторов значительно упрощается и выполняется по таблицам разбивки сопротивлений, рекомендуемым заводами – изготовителями серийного электрооборудования применительно к типовым схемам.

Сопротивления в цепи ротора асинхронных двигателей включаются по симметричным и несимметричным схемам. Симметричное включение сопротивлений применяется в системах с панелями управления, а несимметричное – с кулачковыми контроллерами для уменьшения числа используемых при переключениях контактов. Несимметричное включение подразумевает неравные сопротивления в каждой фазе, которые порождают в них несимметричные токи и провалы моментов, и как следствие этого неустойчивое регулирование частоты вращения. Это делается для уменьшения стоимости ящика резисторов и системы управления. Для крановых двигателей средней и большой мощности наиболее целесообразно использовать симметричное включение сопротивлений в цепи обмоток ротора, так как это обеспечит наиболее плавный пуск, а цена типового комплекта электропривода по сравнению с ценой двигателя не играет роли. При расчете пусковых сопротивлений, включенных по симметричной

схеме, предварительно для заданного режима работы строят диаграмму пускового режима. Условиями пуска являются колебание пускового момента между максимальным  $M_2$  и минимальным  $M_1$  значениями.

#### 4.1. Построение пусковой диаграммы и расчет сопротивлений ступеней

##### Исходные данные к расчету пускового реостата для первой скорости для $2p=6$

$$n_H=950 \text{ об/мин}$$

$$s_H=0,05, s_{кр}=0,46$$

$$n_C=1000 \text{ об/мин}$$

$$P_H=5000 \text{ Вт}$$

$$M_{кр}/M_H=3,3 \text{ о.е.}$$

$$I_{2H}=10,76 \text{ А}$$

Расчет и построение механических характеристик проводим для трех пусковых ступеней. Количество пусковых ступеней выбираем исходя из техникоэкономических соображений: чем больше число ступеней, тем плавнее пуск, но вместе с этим дороже ящик пусковых резисторов.

Определяем номинальный момент двигателя:

$$\dot{I}_1 = 9550 \cdot \frac{D_1}{n_1} = 9550 \cdot \frac{5}{950} = 51,93 \text{ кН м.} \quad (5.1)$$

Определяем критический момент двигателя:

$$\dot{I}_{\epsilon\delta} = \frac{\dot{I}_{\epsilon\delta}}{\dot{I}_1} \cdot \dot{I}_1 = 3,3 \cdot 51,93 = 171,4 \text{ кН м.} \quad (5.2)$$

Принимаем наибольший пусковой момент двигателя:

$$\dot{I}_1 = 0,75 \cdot \dot{I}_{\epsilon\delta} = 0,75 \cdot 171,4 = 117,27 \text{ кН м.} \quad (5.3)$$

Момент переключения нужно выбирать из условия :

$$\dot{I}_{i\delta} = (1,1 \div 1,8) \cdot \dot{I}_1 = 1,8 \cdot 51,93 = 93,47 \text{ кН м.} \quad (5.4)$$

Расчет сопротивлений ступеней пускового резистора для асинхронного двигателя с фазным ротором по приближенному способу основан на прямолинейности механических характеристик.

Естественная механическая характеристика – зависимость  $n=f(M)$  при

отсутствии добавочных сопротивлений в цепи ротора. Она проходит через две характерные точки:

$M=0$ ;  $n=n_c$  – точка синхронной частоты вращения;

$M=M_n$ ;  $n=n_n$  – точка номинального момента и частоты вращения.

Формула для такой характеристики имеет вид (по формуле Клосса) :

$$M' := 2 \cdot m_M \frac{\left( 1 + \frac{r_1}{c_1 \cdot r'_2} \cdot S_{kp} \right)}{\frac{s}{S_{kp}} + \frac{S_{kp}}{s} + 2 \cdot \frac{r_1}{c_1 \cdot r'_2} \cdot S_{kp}} \quad (5.6)$$

Искусственные характеристики получаются при введении добавочных активных резисторов в цепь обмотки ротора (прибавляя к  $r'_2$ , пусковое сопротивление  $R'_n$ ). Искусственные характеристики также являются прямолинейными и проходят тем круче, чем больше сопротивление добавочного резистора.

Механические характеристики пуска двигателя приведены на Рис. 1.

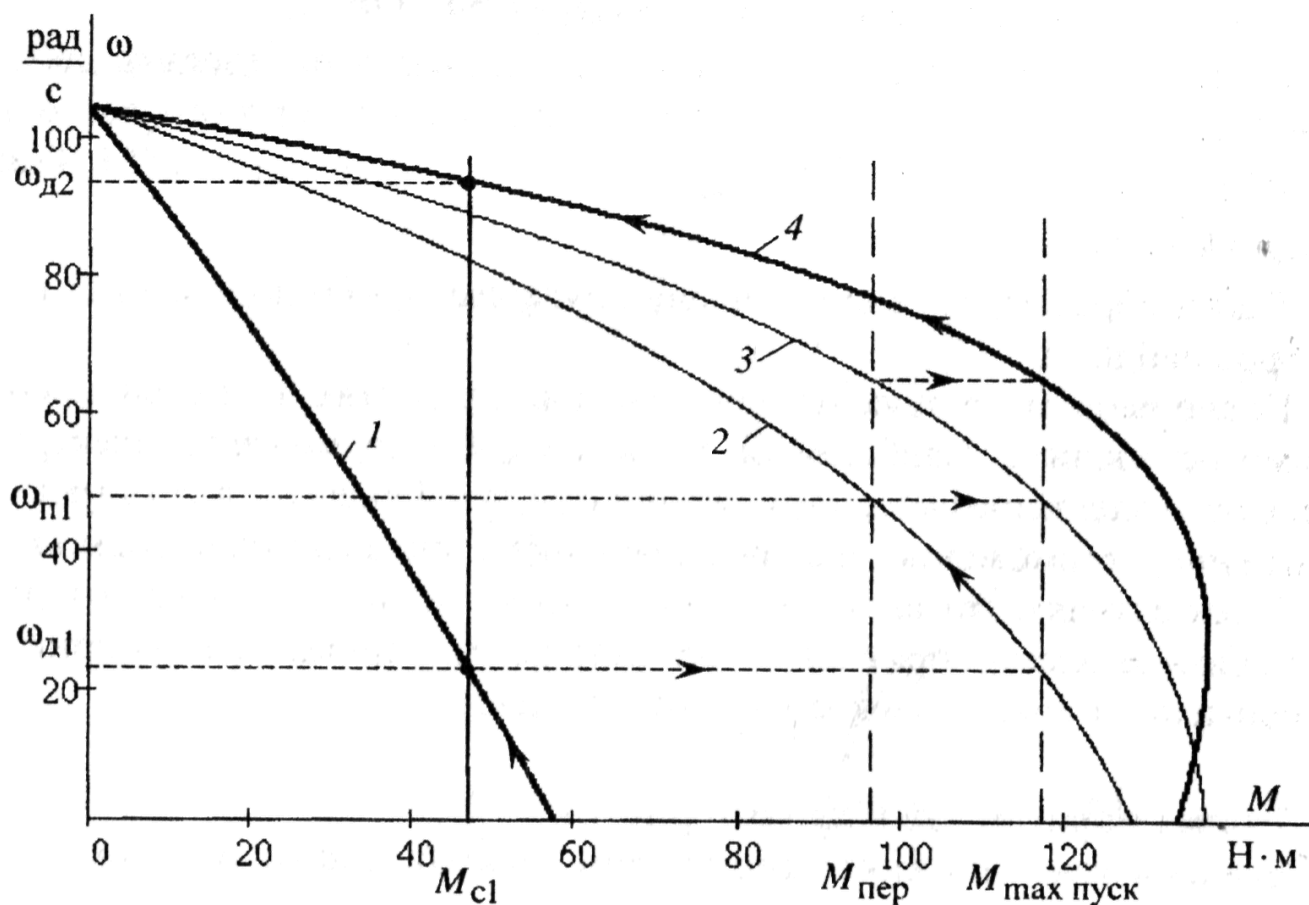


Рис.9 Пусковая диаграмма кранового асинхронного двигателя с фазным ротором.

Так как построение пусковых характеристик произвели в математической системе MathCAD в численных значениях параметров, то пусковыедобавочные сопротивления в цепи обмотки ротора определены в процессепостроения этих характеристик и равны:

- для первой пусковой характеристики

$$R'_{i1} = 5,98 \text{ Ом}$$

- для второй пусковой характеристики

$$R'_{i2} = 3,8 \text{ Ом}$$

- для третьей пусковой характеристики

$$R'_{i3} = 2,1 \text{ Ом}$$

Значения пусковых сопротивлений  $R_{\text{п}}$  непосредственно включаемых в роторную цепь двигателя при пуске с первой на вторую технологическую характеристику, находятся следующим образом:

$$R'_{i1} = R'_{i1} \cdot v_{12} = 5,98 \cdot 0,75 = 4,48 \text{ Ом}$$

$$R'_{i2} = R'_{i2} \cdot v_{12} = 3,8 \cdot 0,75 = 2,85 \text{ Ом}$$

$$R'_{i3} = R'_{i3} \cdot v_{12} = 2,1 \cdot 0,75 = 1,575 \text{ Ом}$$

#### 4.2. Исходные данные к расчету пускового реостата для второй скорости для $2p=12$

$$n_H = 483 \text{ об/мин}$$

$$s_H = 0,033, s_{\text{кр}} = 0,22$$

$$n_C = 500 \text{ об/мин}$$

$$P_H = 5000 \text{ Вт}$$

$$M_{\text{кр}}/M_H = 3,3 \text{ о.е.}$$

$$I_{2H} = 11,16 \text{ А}$$

Определяем номинальный момент двигателя:

$$\dot{I}_i = 9550 \cdot \frac{P}{n_i} = 9550 \cdot \frac{5}{483} = 98,8 \text{ кН м.}$$

Определяем критический момент двигателя:

$$\dot{I}_{\text{ед}} = \frac{\dot{I}_{\text{ед}}}{\dot{I}_i} \cdot \dot{I}_i = 3,3 \cdot 98,8 = 326 \text{ кН м.}$$

Принимаем наибольший пусковой момент двигателя:

$$\dot{I}_1 = 0,75 \cdot \dot{I}_{\text{ед}} = 0,75 \cdot 326 = 244,7 \text{ кН м.}$$

Момент переключения нужно выбирать из условия :

$$\dot{I}_{\text{ид}} = (1,1 \div 1,8) \cdot \dot{I}_1 = 1,8 \cdot 98,8 = 177,8 \text{ кН м.}$$

Расчет сопротивлений ступеней пускового резистора для асинхронного двигателя с фазным ротором по приближенному способу основан на прямолинейности механических характеристик. Искусственные характеристики получаются при введении добавочных активных резисторов в цепь обмотки ротора (прибавляя к  $r'_2$ , пусковое сопротивление  $R'_n$ ). Искусственные характеристики также являются прямолинейными и проходят тем круче, чем больше сопротивление добавочного резистора.

Механические характеристики пуска двигателя приведены на Рис. 2.

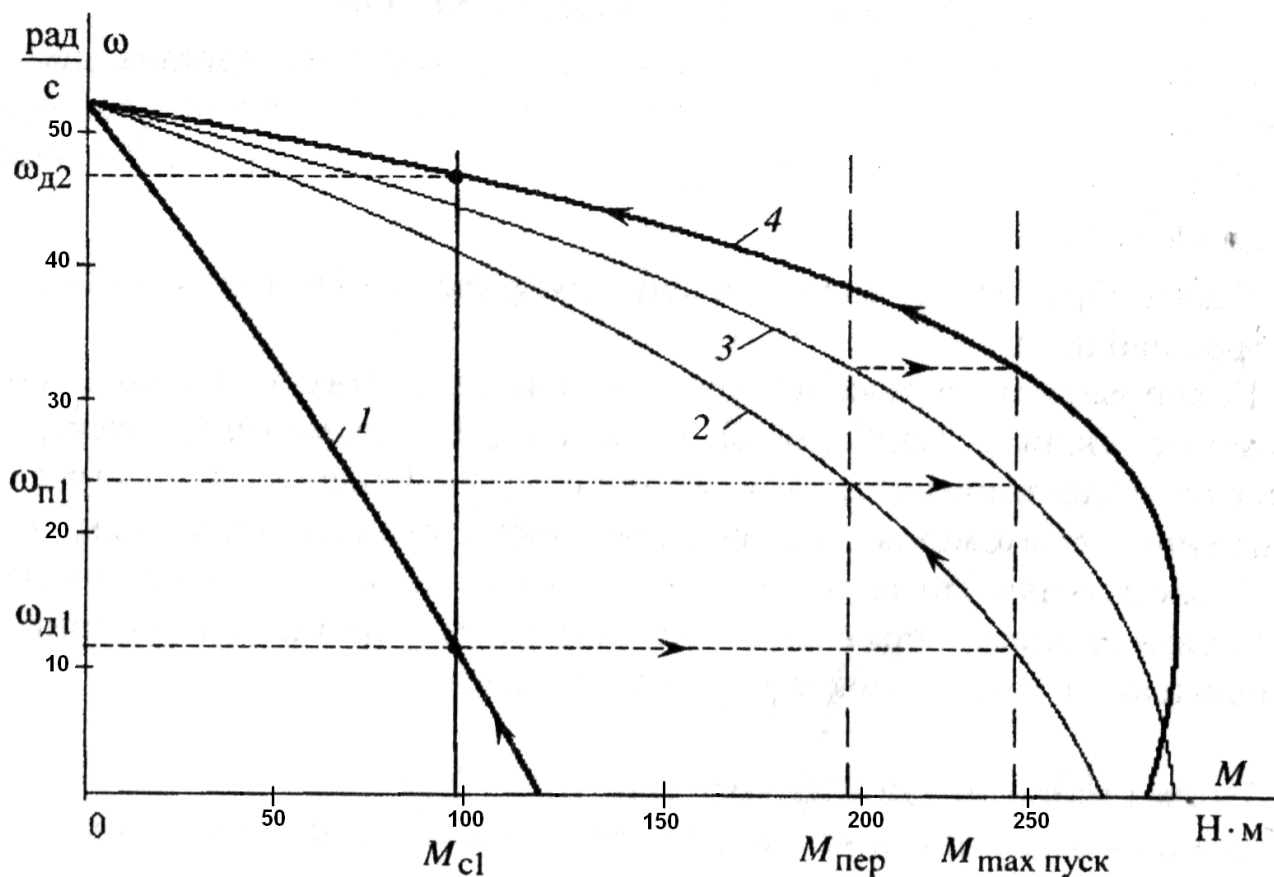


Рис.10 пусковая диаграмма кранового асинхронного двигателя с фазным ротором.

Так как построение пусковых характеристик произвели в математической системе MathCAD в численных значениях параметров, то пусковые добавочные сопротивления в цепи обмотки ротора определены в процессе построения этих характеристик и равны:

- для первой пусковой характеристики

$$R'_{i1} = 5,47 \text{ Ом}$$

- для второй пусковой характеристики

$$R'_{i2} = 3,29 \text{ Ом}$$

- для третьей пусковой характеристики

$$R'_{i3} = 1,59 \text{ Ом}$$

Значения пусковых сопротивлений  $R_n$  непосредственно включаемых в

роторную цепь двигателя при пуске с первой на вторую технологическую характеристику, находятся следующим образом:

$$R_{i1} = R'_{i1} \cdot v_{12} = 5,47 \cdot 0,75 = 4,103 \text{ } \hat{\text{ }} \hat{\text{ }}$$

$$R_{i2} = R'_{i2} \cdot v_{12} = 3,29 \cdot 0,75 = 2,367 \text{ } \hat{\text{ }} \hat{\text{ }}$$

$$R_{i3} = R'_{i3} \cdot v_{12} = 1,59 \cdot 0,75 = 1,192 \text{ } \hat{\text{ }} \hat{\text{ }}$$

### 4.3. Выбор типового ящика резисторов

В соответствии с рассчитанными пусковыми сопротивлениями, обеспечением соответствия теплового режима резисторов режиму работы двигателя и номинальным током ротора  $I_{2н}=10,76 \text{ А}$ . выбираем ящик пусковых резисторов Б6МУ2.

Блоки резисторов крановые Б6М предназначены для пуска, регулирования скорости и торможения крановых электродвигателей постоянного и переменного тока. Блоки классифицируются по климатическому исполнению и категории размещения.

Структура условного обозначения Б6М[\*][\*\*]:

Б – блоки резисторов серии Б;

6 – максимальное число резисторных элементов в блоке;

М – модернизированные;

[\*][\*\*] – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150

### 4.4. Особенности конструкции блока Б6М

Блок представляет собой конструкцию открытого исполнения и состоит из каркаса, резистора (резисторный элемент на керамическом изоляторе), внешних контактных зажимов. Резисторный элемент выполнен из фехральной проволоки. Преимуществом данного материала является то, что он допускает весьма высокие рабочие температуры ( $350-400^{\circ}\text{C}$  для прерывисто – продолжительного, кратковременного и повторно – кратковременного режима работы). Внутренние электрические соединения выполнены

изнеизолированных медных проводников. Изоляция в блоке обеспечивается фарфоровыми цилиндрическими изоляторами. При работе блока резисторов ток через коммутационные выводы протекает по резисторным элементам, выделяемое тепло рассеивается потоками воздуха. К каждому выводу рекомендуется присоединять не более двух проводов (кабелей), оконцованных наконечниками. Блоки должны устанавливаться на горизонтальных поверхностях и надежно крепиться болтами размещения резисторов в блоке.

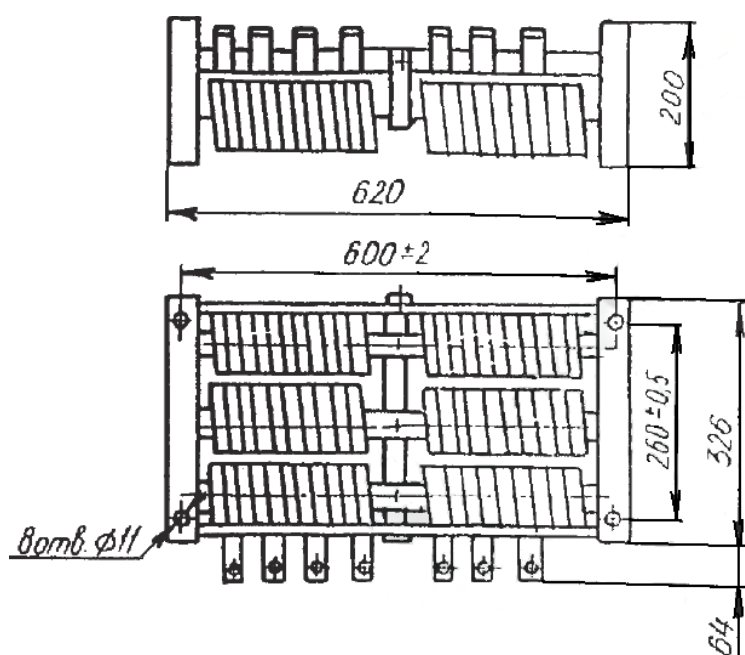


Рис. 11 общий вид, габаритные и установочные размеры блоков и схема

#### 4.5. Условия эксплуатации

окружающая среда невзрывоопасная, не пожароопасная, не содержащая газов и паров, разрушающих металл и изоляцию, не содержащая токопроводящей пыли; группа механического исполнения М3 ГОСТ 17516.1-90 без многократных ударов; степень защиты IP00 по ГОСТ 14255-69; эксплуатация и обслуживание блоков должны производиться в соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей»; блоки по способу защиты человека от поражения электрическим

токомотносится к классу 0 по ГОСТ 12.2.007.0-75;вероятность возникновения пожара от блока не более  $10^{-6}$  в год.

#### 4.6.Технические данные

Номинальное напряжение:

постоянного тока до 440 В;

переменного тока частотой до 60 Гц до 660В.

Номинальный режим работы продолжительный

Режим работы продолжительный, кратковременный,

повторно – кратковременный

Масса, не более 20,8 кг.

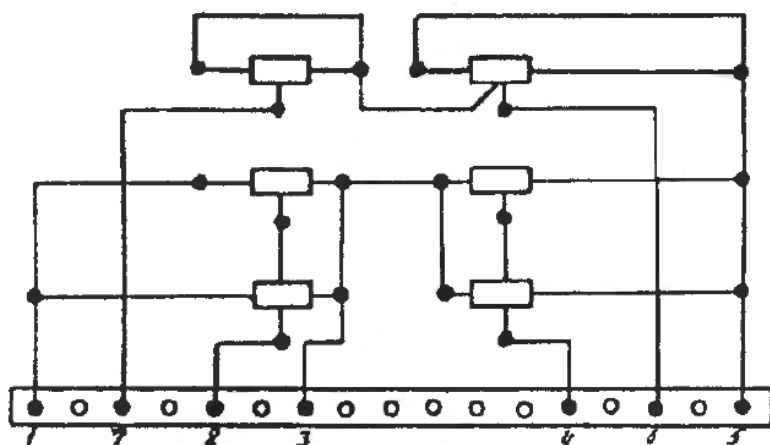


Рис. 12 Электрическая схема блока БМУ2 – ИФРЮ.434352.001

Таблица.4 Технические данные блока БМУ2

| Обозначение<br>конструкторского<br>документа | Обозначение<br>ступеней       | 1-2   | 2-3   | 3-4   | 4-5  | 5-6  | 6-7 |
|----------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|------|------|-----|
| ИФРЮ.434352.001                              | Сопротивление<br>ступеней, Ом | 0,510 | 0,510 | 0,510 | 0,66 | 0,66 | 1,6 |

Данный ящик резисторов будет использоваться только для пускакранового асинхронного двигателя с фазным ротором (повторно –кратковременный режим работы ПВ=40%). Этим объясняется выборящика с меньшим номинальным током, чем ток ротора.Для пуска кранового асинхронного двигателя

понадобится шесть ящиков резисторов. Соединение внешних контактных зажимов и присоединение кобмоткам ротора производить согласно рис. 12.

При подборе ящика резисторов фактические значения ступенейсопротивлений несколько отличаются от расчетных. Однако суммарное значение всего добавочного сопротивления в соответствии со схемой (рис. 5, 6) составляет 0,045 Ом, что на 2,8 % больше чем рассчитанные сопротивления по механическим характеристикам. При этом следует учитывать, чтопроизводственный допуск на суммарное сопротивление резисторасоставляет  $\pm 10\%$  его расчетного значения, а производственный допуск на отдельные ступени составляет до  $\pm 15\%$ .

#### 4.7. Пусковой реостат для первой скорости для $2p=6$

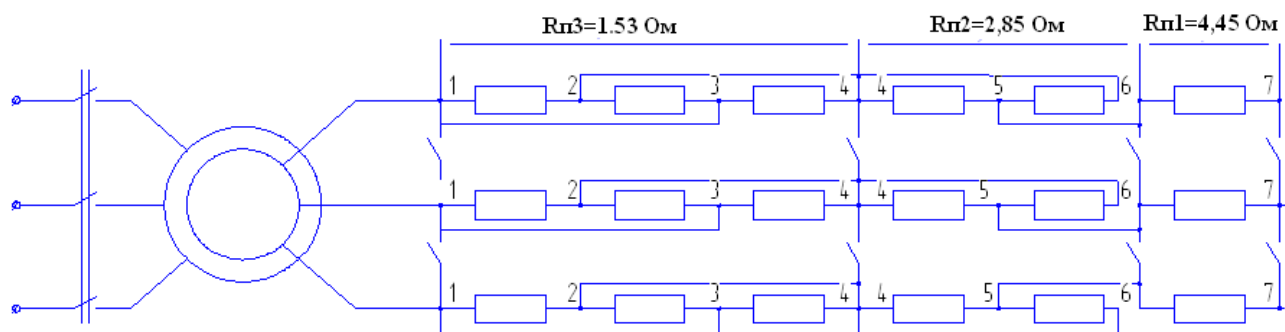


Рис. 13 монтажная схема соединений ящиков резисторов Б6МУ2 для скорости  $n=950$  об/мин ( $2p=6$ ).

Теперь построим искусственные характеристики с учетом полученныхсопротивлений. Искусственные механические характеристики получают путем введения в цепь ротора дополнительного активного сопротивления  $r'_д$ . Расчет характеристик производят по формуле (5.6), в которые вместо сопротивления  $r'_2$  подставляют  $r'_2 + r'_д$ . Результаты представим в виде таблицы

Таблица.5 данные для построения искусственных механических характеристик

| Параметр        | Скольжение $s$ , о. е. |       |       |       |       |       |       |      |   |
|-----------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---|
| Момент $M$ о.е. | 1                      | 0.8   | 0.6   | 0.4   | 0.2   | 0.1   | 0.07  | 0.05 | 0 |
| 1-я искус. х-ка | 3.155                  | 2.929 | 2.545 | 1.952 | 1.107 | 0.585 | 0.416 | 0.3  | 0 |

|                 |       |       |       |       |       |       |       |       |   |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| 2-я искус. х-ка | 3.3   | 3.235 | 2.989 | 2.45  | 1.481 | 0.804 | 0.576 | 0.417 | 0 |
| 3-я искус. х-ка | 3.108 | 3.261 | 3.285 | 2.99  | 2.028 | 1.16  | 0.842 | 0.615 | 0 |
| Естествен. х-ка | 2.729 | 2.99  | 3.224 | 3.279 | 2.656 | 1.71  | 1.29  | 0.967 | 0 |

Построим естественные и искусственные характеристики в одной системе координат

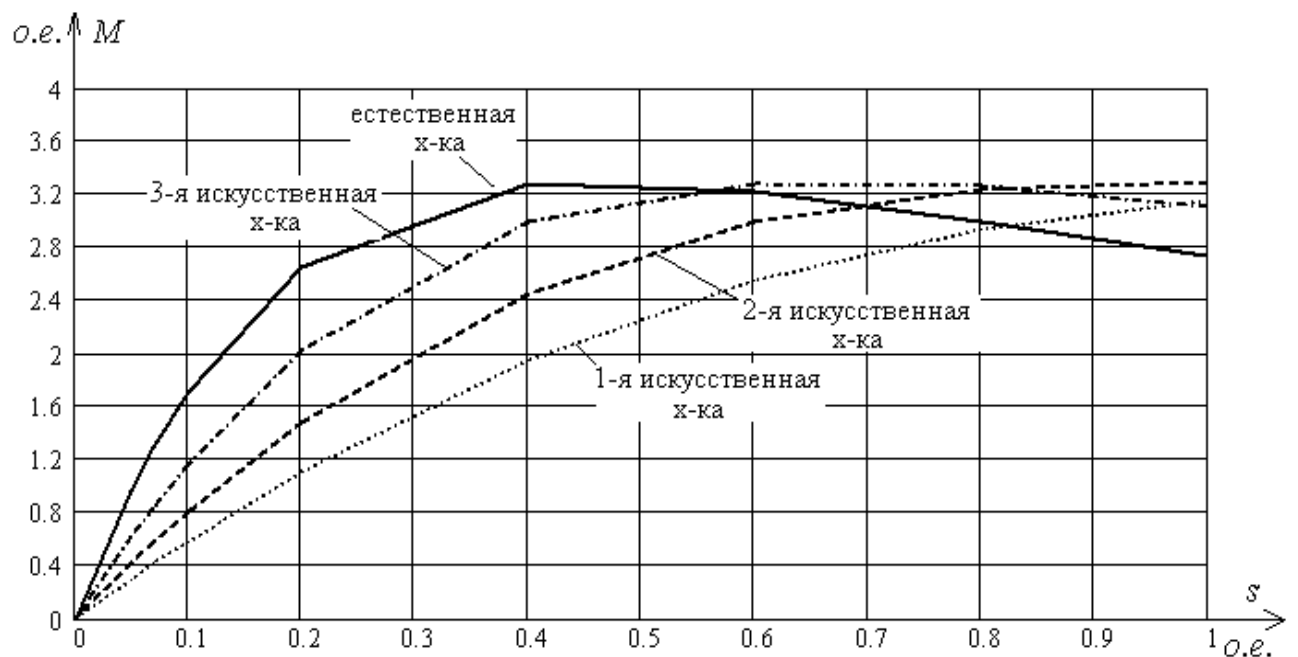


Рис.14 естественная и искусственные характеристики в относительных единицах

#### 4.8. Пусковой реостат для второй скорости для $2p=12$

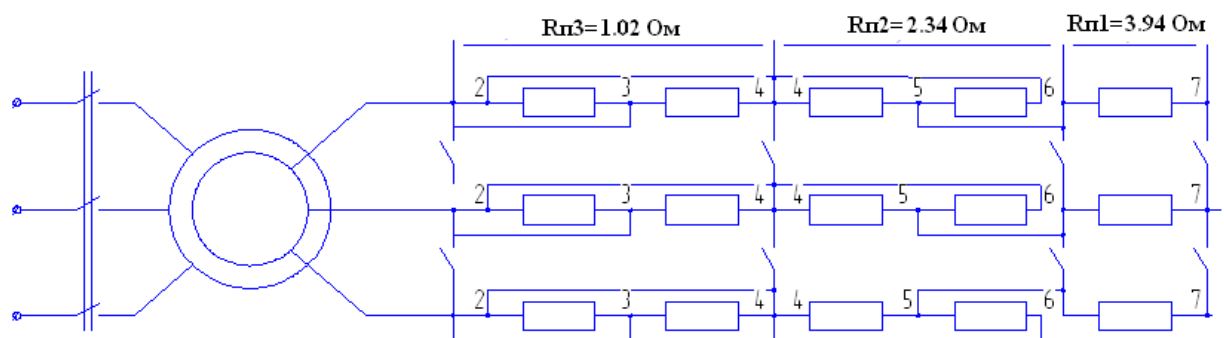


Рис.15 Монтажная схема соединений ящиков резисторов Б6МУ2 для скорости  $n=483$  об/мин ( $2p=12$ ).

Теперь построим искусственные характеристики с учетом полученных

сопротивлений. Искусственные механические характеристики получают путем введения в цепь ротора дополнительного активного сопротивления  $r'_д$ . Расчет характеристик производят по формуле (5.6), в которые вместо сопротивления  $r'_2$  подставляют  $r'_2 + r'_д$ .

Результаты представим в виде таблицы

Таблица.6 Данные для построения искусственных механических характеристик

| Параметр        | Скольжение $s$ , о. е. |       |       |       |       |       |       |       |   |
|-----------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| Момент $M$ о.е. | 1                      | 0.8   | 0.6   | 0.4   | 0.2   | 0.1   | 0.07  | 0.05  | 0 |
| 1-я искус. х-ка | 3.261                  | 3.098 | 2.748 | 2.139 | 1.218 | 0.641 | 0.455 | 0.327 | 0 |
| 2-я искус. х-ка | 3.257                  | 3.297 | 3.152 | 2.663 | 1.638 | 0.888 | 0.634 | 0.459 | 0 |
| 3-я искус. х-ка | 2.865                  | 3.119 | 3.291 | 3.161 | 2.246 | 1.295 | 0.939 | 0.685 | 0 |
| Естествен. х-ка | 1.53                   | 1.834 | 2.264 | 2.859 | 3.287 | 2.591 | 2.048 | 1.572 | 0 |

Построим естественные и искусственные характеристики в одной системе координат

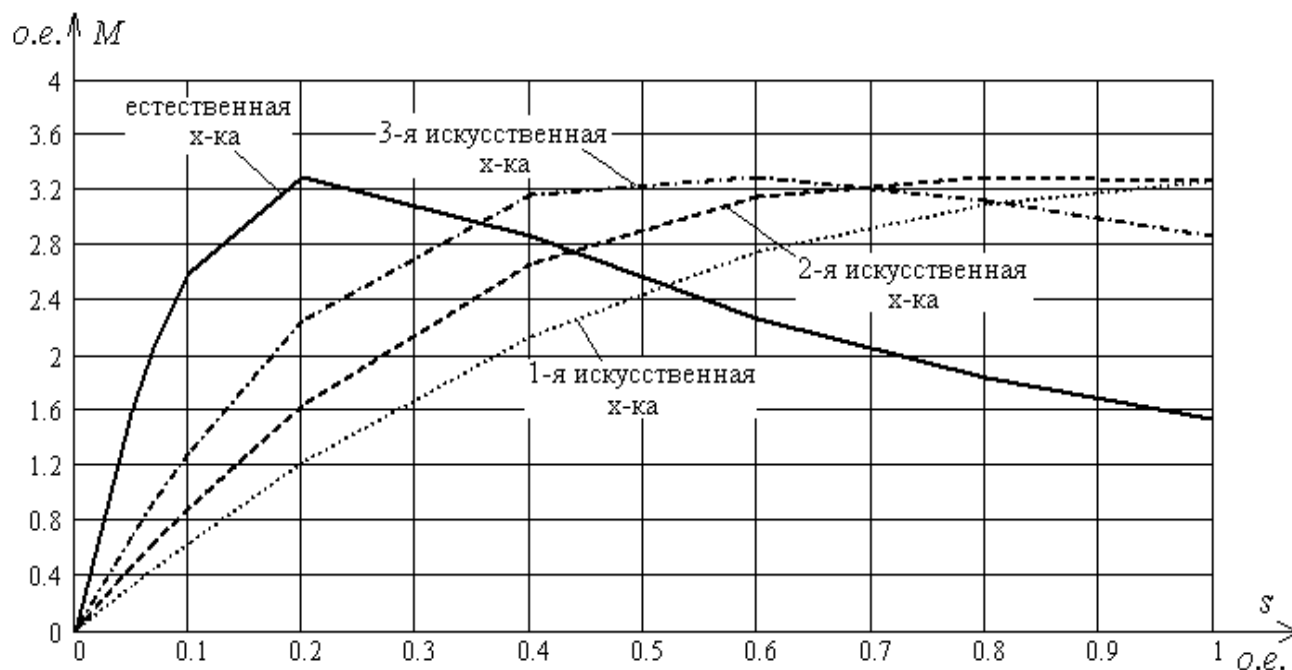


Рис.16 Естественная и искусственные характеристики в относительных единицах

## **5. Технологическая часть**

### **5.1. Оценим технологичность сборки статора**

Оценим технологичность сборки статора. При сборке статора производится операция запрессовки сердечника с катушками в станину. При этом необходимо соблюсти сносность станины и сердечника, чтобы не произошел перекос при посадке. Для этой операции необходимо использовать пневматический пресс со специальной оправкой. Основные недостатки при сборке:

- несоблюдение сносности может привести к перекосу сердечника и тем самым повлиять на размер воздушного зазора и вообще на дальнейшую собираемость изделия;
- при запрессовке сердечника с катушками существует опасность повреждения лобовых частей катушек и выводов;
- требуется контроль посадок и размеров для избежание перепрессовки Сердечника, что в свою очередь может привести к дополнительным операциям крепления сердечника к станине.

Достоинства сборки статора:

- операция прессовки дает надежное крепление сердечника с катушками в станине, что обеспечивает общую жесткость конструкции и исключает дополнительные мероприятия по креплению сердечника и приводит к минимизации времени на операцию. Для устранения или минимизации выявленных недостатков необходимо использование необходимого оборудования, инструмента и приспособлений для соблюдения технологии сборки. Приспособления, инструмент, оборудование должно быть исправным и поверенным. Следует при запрессовке осуществлять контроль за частями катушек во избежание повреждения изоляции. После запрессовки осуществить операцию контроля размеров и посадки сердечника.

Технологичность конструкции изделия.

Конструктор, придавая конструкции изделия в процессе ее разработки необходимые свойства, выражающие полезность изделия, придает ей и такие конструктивные свойства, которые определяют уровень затрат ресурсов на создание, изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия.

Совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ, представляет собой технологичность конструкции изделия (ТКИ).

ТКИ выражает не функциональные свойства изделия, а его конструктивные особенности. Конструкцию изделия характеризуют в общем случае состав и взаимное расположение его составных частей, схема устройства изделия в целом, форма и расположение поверхностей деталей и соединений, их состояние, размеры, материалы и информационная выразительность. Поэтому для изделия следует применять термин «технологично конструкции изделия».

Общие технологические требования к конструкции сборочной единицы. На технологичность конструкции сборочной единицы влияют разнообразные факторы, важнейшими из которых являются следующие: конструктивно-технологические свойства сборочной единицы и входящих в нее элементов; свойства средств технологического оснащения сборочных работ и производственные условия сборки.

Для обеспечения технологичности конструкции сборочной единицы в процессе конструирования изделия должны быть выполнены следующие условия: Полная взаимозаменяемость деталей и узлов сборочной единицы, т. е. Конструктивное оформление деталей и узлов, исключающее подгоночные работы в процессе установки; обеспечение удобного подхода при использовании монтажно-сборочных инструментов и приспособлений; обеспечение возможности применения прогрессивных средств технологического оснащения (сборочных автоматов, роботов, других средств

автоматизации и механизации сборочных работ);обеспечение применения дифференцированных схем сборки за счет рациональногочленения изделия на агрегаты, секции, узлы и детали.

Соблюдение этих условий позволяет широко применять средства автоматизации и механизации сборочных работ и прогрессивные способы организации сборки.Геометрические формы элементов конструкции сборочной единицы должныбыть, по возможности, простыми. Сложные геометрические формы усложняют процесс сборки, так как требуют использования специализированного или специального нестандартного технологического оборудования, инструмента и приспособлений для сборочных работ и контроля качества сборки.Важным фактором повышения технологичности конструкции изделия являетсяПреемственность элементов конструкции. Использование во вновь создаваемой конструкции отдельных составных частей ранее созданных изделий, уже освоенных в производстве и проверенных в эксплуатации, существенно снижает трудоемкость изготовления и затраты на подготовку производства, сокращает сроки освоения в производстве и эксплуатации изделия.

Эффективными методами повышения технологичности конструкции сборочной единицы являются типизация и унификация конструктивных компоновок, узлов и деталей в пределах однотипных групп объектов производства. Унификация и стандартизация элементов сборочных единиц должны ограничивать применение типоразмеров таких конструктивных элементов, как болты, заклепки, штифты, пружины, резьбы, модули зубчатых колес, диаметры отверстий и т. п.

Общее число деталей в сборочной единице должно быть минимальным, так как введение в конструкцию контуров разъемов (стыков) требует дополнительных трудовых и материальных затрат на их реализацию в производстве изделия.

## **5.2. Расчет усилия запрессовки сердечника с катушкой в станину**

Усилие начальной запрессовки обмоток Р заранее рассчитывается исходя из ожидаемых усилий при коротких замыканиях на общую опорную площадь прокладок обмотки и указывается в чертеже. Рассчитаем усилие запрессовки сердечника с катушками в станину

Исходные данные:

— наружный диаметр сердечника с катушками  $D = 225 \text{ мм} \frac{+0.089}{0.017}$

— номинальный диаметр соединения  $d = 225 \text{ мм}$

— диаметр отверстия в станине  $\varnothing 225 \text{ H7 } (+0,046) \text{ мм}$

— осевая длина сердечника с катушками  $L = 215 \text{ мм}$ .

Сборку подобных соединений (с натягом) осуществляют под действием осевой силы, создаваемой прессом (продольно прессовое соединение)

При продольно прессовом соединении необходимо определить максимальное значение осевой силы  $P$ , создаваемой прессом [9, с. 200]

$$P = f_3 \pi d L p = 0.14 \cdot \pi \cdot 225 \cdot 4.511 = 80275 \text{ Н} = 80.2 \text{ кН}$$

Где  $f_3 = 0,14$  – коэффициент трения при запрессовке [9, с. 201];

$$p = \frac{1}{d} \cdot \frac{\delta_p \cdot 10^{-3}}{\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}} = \frac{1}{225} \cdot \frac{87.08 \cdot 10^{-3}}{\frac{0.72}{20.6 \cdot 10^4} + \frac{2.318}{20.6 \cdot 10^4}} = 4.511 \text{ - давление на поверхности}$$

контакта, МПа

$$\delta_p = \delta_{\max} - 1.2(R_{a1} + R_{a2}) = 460 - 1.2 \times (0.8 + 0.8) = 87.08 \text{ - расчётный на тяг в соединении, мкм;}$$

$$D_{\max} = e_{\text{св}} - EI_o = 89 - 0 = 89 \text{ - максимальный натяг в соединении, мкм;}$$

$$e_{\text{св}} = 89 \text{ - верхнее предельное отклонение вала, мкм;}$$

$$EI_o = 0 \text{ - нижнее предельное отклонение отверстия, мкм;}$$

$$Ra1 = Ra2 = 0.8 \text{ - шероховатость сопрягаемых поверхностей, мкм [2, табл. 2.67];}$$

$$C1 = 1 - \mu_1 = 1 - 0.28 = 0.72 \text{ - расчётный коэффициент;}$$

$$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_2 = \frac{239^2 + 225^2}{239^2 - 225^2} + 0.28 = 2.318 \text{ - расчётный коэффициент для сердечника с катушками;}$$

$E = E = 20,6 \times 10$  – модуль Юнга для стали, Н/м<sup>2</sup>;

$\mu_1 = \mu_2 = 0,28$  – коэффициент Пуассона для стали [18, с. 459].

Осевая сила, которую должен развивать пресс, равна 80,2 кН.

Выбираем гидравлический одностоечный пресс типа П6320 [4, с. 367], [11, с. 347], с номинальной силой 100 кН.

Основные технические характеристики:

- наибольший ход штока – 400 мм;
- наибольшее расстояние между запрессовочным столом и штоком – 600 мм;
- размер запрессовочного стола – 500 х 380 мм;
- расстояние от оси штока до станины – 200 мм;
- скорость рабочего хода штока – 20 мм/с;
- возвратного хода 300 мм/с;
- мощность привода – 3 кВт;
- габаритные размеры в плане – 1250 × 1215 мм;
- высота над уровнем пола – 1982 мм;
- масса пресса – 1,208 т.

Учитывая, что наибольший диаметр сердечника с катушками 225 мм, а суммарная длина станины и сердечника с катушками не более 270 мм, данный пресс можно применять для сборки статора.

Сборка с термоздействием осуществляется путём нагрева станины для получения теплового сборочного зазора в соединении. Необходимая температура равна

$$T = \frac{\delta_{\max} + i}{k_a \cdot d} + T_0 = \frac{0,16 + 0,15}{11,6 \cdot 10^{-6} + 225} + 20 = 100,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Где  $i = 0,01\sqrt{d} = 0,01\sqrt{225} = 0,15$  - тепловой сборочный зазор, мм,

$k_a = 11,6 \cdot 10^{-6}$  - коэффициент линейного расширения, С<sup>-1</sup>,

$T_0 = 20$  – температура окружающей среды, °С.

В серийном производстве часто применяют индукционные нагреватели, Мощность которых можно рассчитать по формуле [9, с. 207]

$$W = v \frac{mc(T - T_0)}{\eta \cdot 10^3} = 1 \cdot \frac{25,4 \cdot 481 \cdot (100,5 - 20)}{20,2 \cdot 0,4 \cdot 10^3} = 121,7 \text{ кВт}$$

где  $v = 1$  – коэффициент, учитывающий величину зоны нагрева, принимаем равным 1,

$$m = 0.25\pi(D^2 - d^2)L\gamma = 0.25 \cdot \pi \cdot (0.240^2 - 0.225^2) \cdot 0.333 \cdot 25.4 \text{ кг} \quad - \quad \text{ориентировочная}$$

масса станины;

$$\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3 \text{ - плотность стали;}$$

$$c = 481 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)} \text{ – удельная теплоёмкость стали [18, с. 463];}$$

$$t = (T - T_0) / v_n = (100,5 - 20) / 4 = 20,2 \text{ , с – время нагрева станины;}$$

$$v_n = 4, ^\circ\text{C/с – скорость нагрева;}$$

$$\eta = 0,4 \text{ , общий КПД индуктора.}$$

### 5.3. Составление схемы сборки и маршрутной технологии

После изучения сборочных чертежей и точностного анализа конструкции, Необходимо разбить изделие на сборочные единицы – составные части. Это Основная работа при проектировании технологического процесса сборки при выполнении этой работы целесообразно исходить из следующих принципов.

1. Сборочная единица не должна быть слишком большой по габаритным размерам и массе или состоять из большого количества деталей и сопряжений. В то же время излишнее "дробление" машины на сборочные единицы не рационально, т.к. это усложняет процесс комплектования при сборке, создает дополнительные трудности организации сборочных работ.
2. Если в процессе сборки требуется проведение испытаний, обкатка, специальная слесарная пригонка узла машины, то он должен быть выделен в особую сборочную единицу
3. Сборочная единица при монтаже ее в машине не должна подвергаться какой-либо разборке, а если этого избежать нельзя, то соответствующие разборочные работы необходимо предусмотреть в технологии.
4. Большинство деталей машины, исключая ее базовые детали (станину, раму, и пр.), а также детали крепления резьбовых соединений, должны войти в те или

иные сборочные единицы, чтобы сократить количество отдельных деталей, подаваемых на общую сборку.

5. Трудоемкость сборки должна быть примерно одинакова для большинства сборочных единиц составных частей машины. Схема сборки, являясь первым этапом разработки технологического процесса, в наглядной форме отражает маршрут сборки изделия и его составных частей. Технологическую схему сборки составляют на основе сборочных чертежей изделия.

Схема сборки позволяет отразить маршрут сборки изделия, выделить составные части изделия, которые можно собрать отдельно (организовать параллельную сборку составных частей); оценить предварительно трудоемкость сборки отдельных составных частей; иногда выявить конструктивные неувязки; выявить и сравнить варианты технологического процесса. На базе схемы сборки разрабатывается маршрутная технология, устанавливающая последовательность и содержание операций.

Основной задачей на данном этапе является составление технологического маршрута, т.е. перечень, указывающих последовательность операций и их выполнение. Технологический маршрут фиксируется на маршрутных картах, форма и содержание которых определена ГОСТ 3.1118-82.

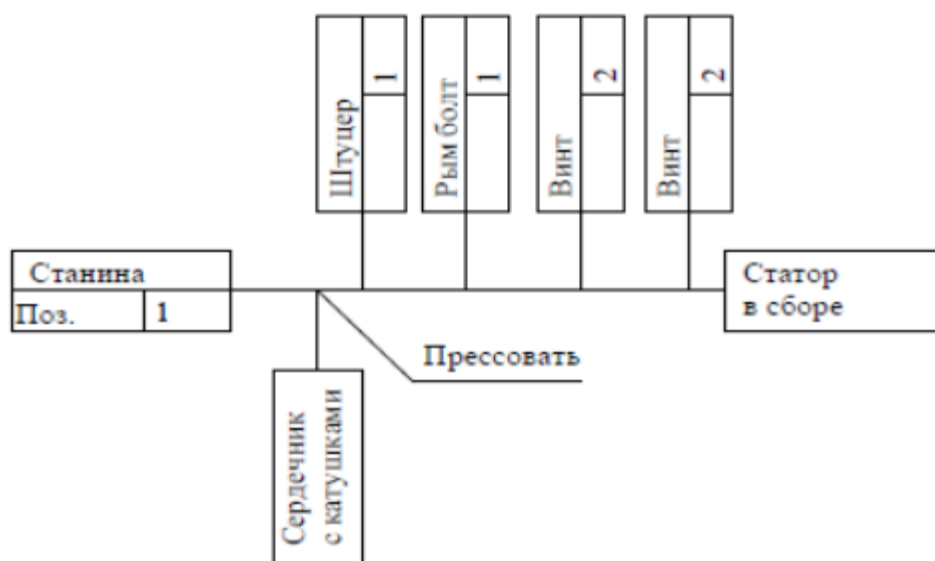


Рис.17 Схема сборки

#### 5.4. Выбор оборудования и оснастки

Характеристику сборочного оборудования, технологической оснастки (приспособлений, рабочего и измерительного инструмента) и подъемнотранспортных средств. При серийном производстве технологическое оборудование и оснастку применяют универсального переналаживаемого типа. В массовом производстве преимущественно применяют специальное оборудование и оснастку. Тип, основные размеры и грузоподъемность подъемно-транспортных средств определяют по установленной организационной форме сборки, размерной характеристике изделия и его массе. К технологическому оборудованию, предназначенному непосредственно для выполнения работ по осуществлению подвижных или неподвижных сопряжений деталей, их регулировке и контролю в процессе узловой и общей сборки обычно относят прессы, оборудование для балансировки, мойки, нагрева, клеймения, заправки смазками, сборочные стенды. Для выполнения пригоночных работ могут быть применены различные виды металлорежущего оборудования.

Приспособления, применяемые при сборке, по степени специализации разделяют на универсальные и специальные; по степени автоматизации на ручные, механизированные, полуавтоматические и автоматические; по типу привода на механические, пневматические, гидравлические и пневмогидравлические; по назначению - на установочно-зажимные, для точной и быстрой фиксации сопрягаемых деталей, для предварительного деформирования упругих элементов, для захвата, подъема и перемещения деталей и сборочных единиц. По виду выполняемых работ их разделяют на приспособления для запрессовки, клепки, развальцовки, свинчивания, гибки, пайки и др. Инструменты, применяемые при сборке делят на ручной слесарно-сборочный инструмент и ручные машины для слесарно-пригоночных и сборочных работ.

| №<br>опе<br>р. | Наимен.<br>операции | Станок | Основные технические<br>характеристики |
|----------------|---------------------|--------|----------------------------------------|
|----------------|---------------------|--------|----------------------------------------|

Кручному инструменту относят различного назначения и конструкции гаечные ключи, шпильковерты, щипцы, кусачки, плоско- и круглогубцы, слесарные молотки, напильники, керны, зубила. Основным средством механизации слесарно-пригоночных работ являются ручные машины, повышающие производительность труда в 3-10 раз по сравнению с ручным инструментом. Ручные машины (механизированный инструмент) - группа технологических машин со встроенными двигателями, масса которых (обычно 1,5-10 кг) полностью или частично воспринимается руками оператора, управляющего машиной. Для приведения в движение рабочего органа в ручных машинах используют пневматические, электрические и реже гидравлические приводы. По назначению различают ручные машины общего применения (сверлильные, шлифовальные и полировальные, фрезерные), для слесарно-доводочных работ (развальцовочные, развертывающие, зенковальные, опиловочные, ножницы, кромкорезы, шаберы, пилы по металлу, зачистные и рубильные молотки), для сборочных работ (резьбозавертывающие, резьбонарезные, клепальные молотки, скобозабивные). Принимаем следующее оборудование: Токарно-винторезный станок мод. 165 Продольно-фрезерный станок мод. 6605 Радиально-сверлильный станок мод. 2М55 Пресс

Оборудование Таблица.7

|     |             |                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----|-------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,2 | Токарная    | Токарный станок мод. 165               | <p>Наибольший диаметр над станиной - 400</p> <p>Наибольшая длина обрабатываемой заготовки - 710 мм</p> <p>Частота вращения шпинделя - 12,5-1600 об/мин</p> <p>Число скоростей шпинделя - 22</p> <p>Подача с суппорта, продольная - 0,05 – 2,8 мм/об</p> <p>Число ступеней подач – 24</p> <p>Мощность электродвигателя главного привода – 11 кВт</p> <p>Габаритные размеры:</p> <p>Длина - 2505 мм</p> <p>Ширина - 1190 мм</p> <p>Высота - 1500 мм</p> <p>Масса - 2835 кг</p> |
| 3   | Сверлильная | Радиально-сверлильный станок мод. 2М55 | <p>Размеры станка, мм</p> <p>длина.....1200</p> <p>ширина.....600</p> <p>Расстояние от торца шпинделя до стола мм .....40-500</p> <p>Наибольший ход ,мм.....250</p> <p>Диапазон скоростей вращения Об/мин.....40-2500</p> <p>Число скоростей.....18</p> <p>Диапазон подач, об/мин.....20-1200</p> <p>Мощность главного привода, кВт .....5,5</p>                                                                                                                             |
| 3   | Фрезерная   | Продольно-фрезерный станок 6605        | <p>Размеры стола, мм:</p> <p>Длина.....1400</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | Ширина.....<br>.....600<br>Наибольший.....<br>.....800<br>Поперечный.....<br>.....400<br>Наибольший ход ползуна,<br>мм .....150<br>диапазон<br>скоростей .....40-800<br>число скоростей .....18<br>Диапазон подач стола, салазок,<br>ползуна,<br>мм/мин.....20-<br>1200<br>Мощность главного привода,<br>кВт.....7.5 |
|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 5.5. Техническое нормирование операций

Технически обоснованной нормой времени называют регламентированное время выполнения технологической операции в определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства.

Прежде чем перейти к техническому нормированию операций составим маршрутную карту по операциям.

Для неавтоматизированного производства штучное время равно:

$$T_{шт} = T_0 + T_B + T_{ОБ} + T_{П}$$

где  $T_{шт}$  – штучное время, отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий, мин.;

$T_0$  – основное время учитывает изменение состояния продукта в процессе обработки, мин.;

$$T_{ОП} = T_0 + T_B$$

где  $T_{ОП}$  – оперативное время, мин.

$T_{ОБ}$  – время организационного обслуживания рабочего места, мин. Составляет

Определенный процент от  $T_{оп}$ , в зависимости от операций.

$T_{п}$  – время перерывов в работе на отдых и личные надобности, мин.

Составляет также определенный процент от  $T_{оп}$ , в зависимости от операций.

При обработке изделий партиями в серийном производстве определяют

штучно – калькуляционное время  $T_{шт.к}$ , мин.

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.э}}{N \cdot k}$$

где  $T_{п.э}$  – подготовительно – заключительное время, затрачиваемое работником на ознакомление с чертежом, подготовку и наладку оборудования, мин. Составляет определенный процент от  $T_{оп}$ , в зависимости от операции.

где  $N$  – программа выпуска 6700шт/год;

$k$  – 1,03 – коэффициент учитывающий брак.

Нормы времени приведены в таблице 1.

Для операции прессовка

Штучное время равно

$$T_{шт} = T_{о} + T_{в} + T_{об} + T_{п} = 1,2 + 0,581 + 0,615 + 0,192 = 2,528 \text{ мин},$$

где  $T_{о}$  основное(технологическое) время ;

$T_{в}$  - вспомогательное время;

$T_{об}$ - время организационного обслуживания рабочего места;

$$T_{об} = 0,05 \quad T_{оп} = 0,05 * 2,362 = 0,166 \text{ мин.}$$

$T_{п}$  – время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего.

$$T_{п} = 0,03 \quad T_{оп} = 0,03 * 2,362 = 0,192 \text{ мин.}$$

Так как элементы основного и вспомогательного времени тесно связаны между собой, при сборке нормируют и оперативное время

$$T_{оп} = T_{о} + T_{в} = 1,2 + 0,581 = 2,362 \text{ мин.}$$

$$T_{пз} = 35 \text{ мин.}$$

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/n = 2,528 + 35/386 = 2,535 \text{ мин.}$$

| Переход                 | То,<br>мин | Тв,<br>мин | Топ,<br>мин | Тоб,<br>мин | Тпз,<br>мин | Тшт,<br>мин | Тшт.к<br>мин |
|-------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 005<br>комплектовочная  | 1,5        | 0,5        | 2           | 0,1         | 12          | 2,1         | 2,102        |
| 010<br>Термическая      | 6,48       | 1,072      | 7,552       | 0,491       | 28          | 8,043       | 8,049        |
| 015 прессовка<br>статор | 1,2        | 0,581      | 2,362       | 0,166       | 35          | 2,528       | 2,535        |
| 020 сверлильная         | 7,758      | 2,492      | 10,25       | 0,615       | 13          | 10,865      | 10,868       |
| 025 токорная            | 5,68       | 0,737      | 6,417       | 0,417       | 31          | 6,834       | 6,84         |
| 030 фрезерная           | 0,34       | 0,13       | 0,47        | 0,024       | 10          | 0,494       | 0,496        |
| 035 сборочная           | 1,117      | 0,32       | 1,437       | 0,072       | 10          | 1,509       | 1,511        |

Таблица.8 Техническое нормирование операции

## 5.6. Определение потребного количества оборудования

Определение потребного количества оборудования. Для определения потребного количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий (6700 шт/год), суммарные нормы времени по каждому виду оборудования и эффективный годовой фонд производственного времени оборудования, который при сорокачасовой неделе можно рассчитать по формуле:

$$F_{\partial} = [(365 - B_{\partial} - П_{\partial}) \cdot 8 - П_{нд}] \cdot K \quad F_{\partial} = [(365 - 105 - 12) \cdot 8 - 3] \cdot 0,94 = 1862 \text{ час}$$

где  $B_{\partial} = 105$  – количество выходных дней в году;

$П_{\partial} = 12$  – количество праздничных дней в году;

$П_{нд} = 3$  – количество предпраздничных дней в году;

$K = 0,94$  – коэффициент, учитывающий время пребывания станка в ремонте.

Расчетное число каждого из видов оборудования

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_o}$$

где N = 6700 шт/год – годовая программа выпуска;

Тшт.к – сумма Тшт.к для единицы оборудования.

Коэффициент загрузки оборудования  $K_z = \frac{C_p}{C_n} \cdot 100\%$

где Сп – принятое число оборудования, получается округлением расчетного в большую сторону.

Данные расчета коэффициента загрузки каждого вида оборудования представлены в таблице 9,

Таблица.9 Данные расчета коэффициента загрузки

| Наименование<br>Оборудования              | Ср   | Сп | Кз, % |
|-------------------------------------------|------|----|-------|
| Токарно-винторезный<br>станок мод. 165    | 0,86 | 2  | 86    |
| Продольно-фрезерный<br>станок мод. 6605   | 0,78 | 1  | 78    |
| Радиально-сверлильный<br>станок мод. 2М55 | 0,36 | 3  | 36    |
| Пресс                                     | 0,94 | 1  | 94    |

На рис.9 по данным таблицы 9 построена диаграмма, показывающая коэффициенты загрузки для различных типов оборудования.

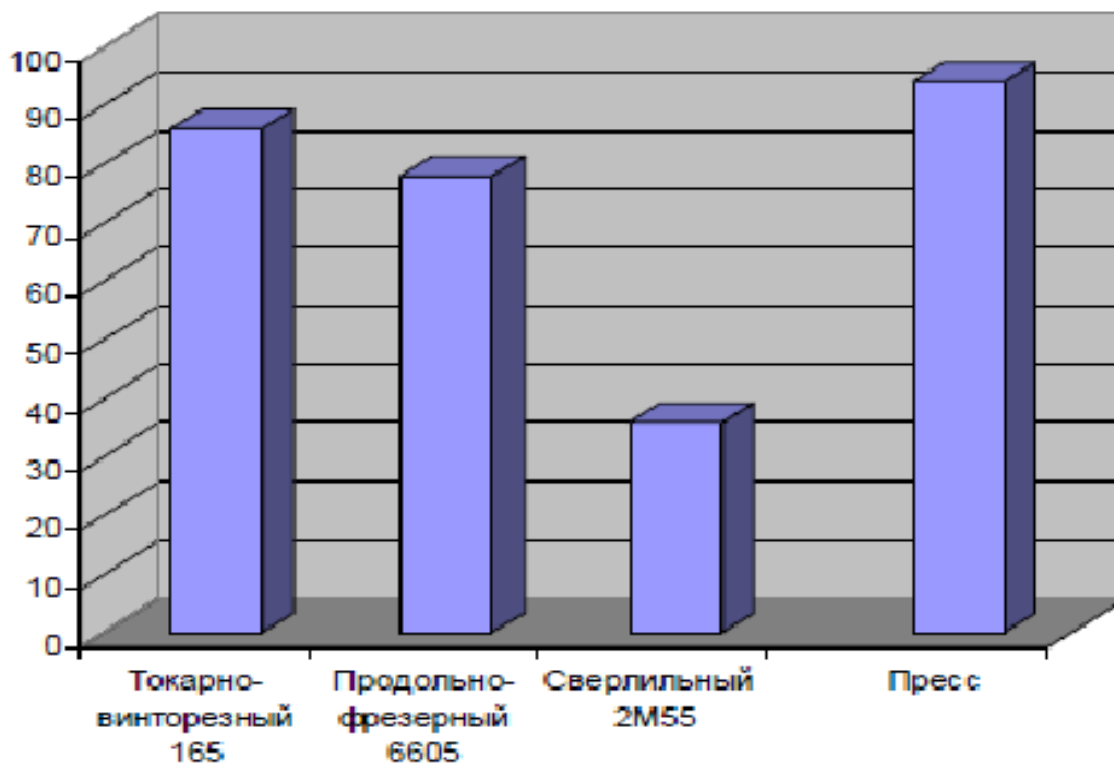


График загрузки оборудования. Рис.18

## 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В экономической части выпускной квалификационной работы освещены вопросы технико-экономического обоснования производства асинхронный двигатель с фазным ротором, что позволит оценить целесообразность производства двигателя.

### 6.1 Анализ потенциальных рисков и разработка мер по управлению ими

На данный момент единой классификации проектных рисков предприятия не существует. Однако можно выделить следующие основные виды рисков, присущие практически всем проектам [1]:

- маркетинговый риск,
- риск ликвидности,
- рыночный риск,

- риск несоблюдения графика проекта,
- риск превышения бюджета проекта, а также
- общеэкономические риски.

Маркетинговый риск — это риск недополучения прибыли в результате снижения объема реализации или цены продукции. Этот риск является одним из наиболее значимых для большинства инвестиционных проектов. Причиной его возникновения может быть неприятие нового продукта рынком или слишком оптимистическая оценка будущего объема продаж. Ошибки в планировании маркетинговой стратегии возникают главным образом из-за недостаточного изучения потребностей рынка: неправильного позиционирования продукции, неверной оценки конкурентоспособности рынка или неправильного ценообразования. Также к возникновению риска могут привести ошибки в политике продвижения, например, выбор неправильного способа продвижения, недостаточный бюджет продвижения и т. д. Риск ликвидности - вероятность получения убытка из-за недостатка денежных средств и неспособности выполнить свои обязательства. Последствия риска ликвидности: штрафы, пени, ущерб деловой репутации, банкротство. Риск возникает по причине непрофессионального управления оборотным капиталом.

Рыночный риск — влияние внешних по отношению к предприятию факторов, возникающих в результате изменения конъюнктуры рынка: колебания цен, курсы валют, котировки ценных бумаг. Рыночным рискам в наибольшей степени подвержены самые ликвидные активы компании: денежные средства, ценные бумаги, товарные запасы.

Риски несоблюдения графика и превышения бюджета проекта. Причины возникновения таких рисков могут быть объективными (например, изменение таможенного законодательства в момент растормаживания оборудования и, как следствие, задержка груза) и субъективными (например, недостаточная проработка и несогласованность работ по реализации проекта). Риск несоблюдения графика проекта приводит к увеличению срока его окупаемости

как напрямую, так и за счет недополученной выручки. В нашем случае этот риск будет велик: если компания не успеет начать реализацию новой продукции до конца зимнего пика продаж, то понесет большие убытки.

К общеэкономическим относят риски, связанные с внешними по отношению к предприятию факторами, например, риски изменения курсов валют и процентных ставок, усиления или ослабления инфляции. К таким рискам можно также отнести риск увеличения конкуренции в отрасли из-за общего развития экономики в стране и риск выхода на рынок новых игроков. Оценка рисков производится в процессе планирования проекта и включает качественный и количественный анализ. Если по итогам оценки проект принимается к исполнению, то перед предприятием встает задача управления выявленными рисками. По результатам реализации проекта накапливается статистика, которая позволяет в дальнейшем более точно определять риски и работать с ними. Если же неопределенность проекта высока, то он может быть отправлен на доработку, после чего снова производится оценка рисков. Риски и меры по ограничению их последствий представлены в таблице 1.

Таблица.10 Риски и меры по ограничению их последствий

| Виды рисков                                                                                                                                                                                                                                                                   | Меры по ограничению последствий рисков                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение платежеспособности потребителей</li> <li>• Неустойчивость спроса</li> <li>• Риск, обусловленный поведением конкурентов</li> <li>• Появление альтернативного продукта</li> <li>• Рост цен</li> <li>• Рост налогов</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Создание резерва для покрытия непредвиденных расходов</li> <li>• Активные маркетинговые действия</li> <li>• Страхование имущества и транспортных перевозок</li> <li>• Изучение изменений в российском законодательстве</li> </ul> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Изменения законодательства</li> <li>• Непредвиденные обстоятельства (аварии, политическая нестабильность)</li> <li>• Небрежность и недобросовестность работников</li> <li>• Перевозка грузов (задержка доставки комплектующих)</li> <li>• Нарушение технологии или освоение новой технологии</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Расширение состава поставщиков</li> <li>• Систематическое изучение конъюнктуры рынка</li> <li>• Обучение персонала работе на новом технологическом оборудовании</li> <li>• Определение мер воздействия к неисполнительным работникам</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 6.2. Оценка конкурентоспособности продукции

Основными конкурентами являются отечественные и зарубежные производители асинхронного двигателя с фазным ротором.

ООО «Воронежский электроремонтный завод», после реализации продукции согласно договору о купле-продаже, предоставляет сервисное обслуживание, консультации специалистов по возникающим вопросам при монтаже и эксплуатации асинхронного двигателя с фазным ротором.

Результаты оценки факторов конкурентоспособности продукции сведем в таблицу 2 [2].

Таблица.11 Оценка факторов конкурентоспособности продукции

| Факторы<br>Ошибка!<br>продукции                      | ООО<br>«Воронежск<br>ий<br>Ошибка!<br>завод», г.<br>Воронеж | ООО<br>«Электрич<br>еские<br>машины и<br>аппараты<br>», г.<br>Санкт-<br>Петербург | ЗАО<br>«Росэнергوما<br>ш» г. Москва | ООО<br>«Энергосна<br>бкомплекс»,<br>г.<br>Екатеренбу<br>рг |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1.Продукция (асинхронный двигатель с фазным ротором) |                                                             |                                                                                   |                                     |                                                            |
| -качество                                            | 5                                                           | 4                                                                                 | 5                                   | 3                                                          |
| -показатели                                          | 5                                                           | 5                                                                                 | 3                                   | 4                                                          |
| -престиж<br>марки                                    | 5                                                           | 5                                                                                 | 4                                   | 4                                                          |
| -упаковка                                            | 5                                                           | 4                                                                                 | 4                                   | 3                                                          |
| обслуживани<br>е                                     | 5                                                           | 5                                                                                 | 5                                   | 4                                                          |
| -гарантия                                            | 5                                                           | 4                                                                                 | 4                                   | 4                                                          |
| -надежность                                          | 5                                                           | 4                                                                                 | 4                                   | 4                                                          |
| -<br>Ошибка!                                         | 5                                                           | 5                                                                                 | 4                                   | 5                                                          |
| 2.Цена                                               |                                                             |                                                                                   |                                     |                                                            |
| -продажа                                             | 5                                                           | 5                                                                                 | 5                                   | 5                                                          |
| -сроки<br>платежа                                    | 5                                                           | 4                                                                                 | 4                                   | 5                                                          |

|                                                                                                                                                           |                  |            |                 |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------|-----------------|------------|
| 3.Каналы сбыта                                                                                                                                            |                  |            |                 |            |
| -прямая                                                                                                                                                   | 5                | 4          | 3               | 4          |
|                                                                                                                                                           |                  |            |                 |            |
| -через посредников                                                                                                                                        | 5                | 4          | 3               | 5          |
| -транспорт                                                                                                                                                | Авто, ж.д., авиа | Авто, ж.д, | Авто, ж.д, авиа | Авто, ж.д, |
| 5. Реклама                                                                                                                                                |                  |            |                 |            |
| -для потребителей                                                                                                                                         | 4                | 5          | 4               | 4          |
| -для посредников                                                                                                                                          | 5                | 4          | 4               | 4          |
| -показ образцов                                                                                                                                           | 5                | 5          | 4               | 4          |
| -маркетинг                                                                                                                                                | 4                | 3          | 4               | 4          |
| Примечание: оценка факторы конкурентоспособности продукции производится по пяти бальной шкале. 1 – не эффективный показатель. 5 – эффективный показатель. |                  |            |                 |            |

Из таблицы 11 видно, что практически по всем показателям ООО «Воронежский электроремонтный завод» является лидером, в создании асинхронного двигателя с фазным ротором.

### 6.3. Анализ конкурентных технических решений

В настоящее время производством асинхронных двигателей с фазным ротором занимаются достаточно большое количество предприятий, но имеются два основных конкурента: ЗАО «Росэнергомаш», ОАО «Электромашина»

Основной вид продукции –асинхронный двигатель с фазным ротором. Цены на продукцию устанавливают сами предприятия, включая в нее значительные накладные расходы.

Проведем сравнительный анализ конкурентоспособности (таблица 3).

Таблица.12 – сравнительный анализ конкурентоспособности

| Критерии оценки                                  | Вес<br>кри<br>тер<br>ия | Баллы          |                 |                 | Конкурентоспособность |                 |                 |
|--------------------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|                                                  |                         | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>        | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности |                         |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1. Повышение<br><b>Ошибка!</b>                   | 0,03                    | 5              | 2               | 4               | 0,15                  | 0,06            | 0,12            |
| 2. Удобство в<br>эксплуатации                    | 0,02                    | 4              | 2               | 4               | 0,08                  | 0,04            | 0,08            |
| 3.<br>Помехоустойчиво<br>сть                     | 0,06                    | 2              | 3               | 2               | 0,12                  | 0,18            | 0,12            |
| 4.<br>Энергоэкономичн<br>ость                    | 0,09                    | 3              | 4               | 2               | 0,27                  | 0,36            | 0,18            |
| 5. Надежность                                    | 0,14                    | 5              | 2               | 5               | 0,7                   | 0,28            | 0,7             |
| 6. Уровень шума                                  | 0,01                    | 2              | 2               | 2               | 0,02                  | 0,02            | 0,02            |

|                                             |          |   |   |   |      |      |      |
|---------------------------------------------|----------|---|---|---|------|------|------|
| 7. Безопасность                             | 0,1<br>5 | 5 | 3 | 5 | 0,75 | 0,45 | 0,75 |
| 8. Потребность в ресурсах памяти            | 0,0<br>2 | 2 | 3 | 3 | 0,04 | 0,06 | 0,06 |
| 9. Функциональная мощность                  | 0,0<br>3 | 2 | 2 | 1 | 0,06 | 0,06 | 0,03 |
| 10. Простота эксплуатации                   | 0,05     | 4 | 3 | 4 | 0,2  | 0,15 | 0,2  |
| 11. Качество интеллектуального интерфейса   | 0,04     | 4 | 2 | 4 | 0,16 | 0,08 | 0,16 |
| 12. Возможность подключения в сеть ЭВМ      | 0,02     | 5 | 2 | 4 | 0,1  | 0,04 | 0,08 |
| Экономические критерии оценки эффективности |          |   |   |   |      |      |      |
| 1. Конкурентоспособность продукта           | 0,0<br>2 | 2 | 1 | 2 | 0,04 | 0,02 | 0,04 |
| 2. Уровень проникновения на рынок           | 0,0<br>2 | 1 | 5 | 3 | 0,02 | 0,1  | 0,06 |
| 3. Цена                                     | 0,0<br>4 | 3 | 5 | 1 | 0,12 | 0,2  | 0,04 |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации         | 0,0<br>9 | 4 | 3 | 5 | 0,36 | 0,27 | 0,45 |

|                                      |      |    |    |    |      |      |      |
|--------------------------------------|------|----|----|----|------|------|------|
| 5. Послепродажное обслуживание       | 0,07 | 5  | 3  | 3  | 0,35 | 0,21 | 0,21 |
| 6. Финансирование научной разработки | 0,03 | 2  | 2  | 1  | 0,06 | 0,06 | 0,03 |
| 7. Срок выхода на рынок              | 0,04 | 2  | 4  | 5  | 0,08 | 0,16 | 0,2  |
| 8. Наличие сертификации разработки   | 0,03 | 1  | 4  | 4  | 0,03 | 0,12 | 0,12 |
| Итого:                               | 1    | 63 | 57 | 64 | 3,71 | 2,92 | 3,65 |

Исходя из таблицы 12 можно сделать вывод то, что продукция ООО «Воронежский электроремонтный завод» конкурентно способна и является лидером по таким показателям как: производительность, надежность, безопасность, послепродажное обслуживание. Есть уязвимость в таких параметрах, как: Уровень проникновения на рынок, потребность в ресурсах памяти, уровень шума. Но данные параметры являются не значительными для клиентов компании.

#### **6.4. Расчет себестоимости производства асинхронного двигателя с фазным ротором**

Себестоимость проектируемого асинхронного двигателя с фазным ротором складывается из следующих основных статей:

- материальные расходы;
- расходы на электроэнергию;
- расходы на оплату труда;

- отчисления на социальные нужды;
- накладные расходы;
- расходы на продажу.

Расчет проведён по данным и методике, принятой в ООО «Воронежский электроремонтный завод», Установленные ставки и тарифы приняты в расчётах по состоянию на первый квартал 2017 года.

Расчет проведён по данным и методике, принятой в ООО «Воронежский электроремонтный завод», Установленные ставки и тарифы приняты в расчётах по состоянию на первый квартал 2017 года.

### 6.5. Материальные затраты

Материальные затраты показывают расход материалов, необходимых для изготовления единицы продукции, в данном случае производство одного асинхронного двигателя с фазным ротором. Они определяются по формуле:

$$M = Q \times C_m,$$

где  $Q$  - норма расхода материала;

$C_m$  - цена материала.

Затраты на материалы для изготовления единицы продукции представлены в таблице 13

Таблица.13 – Затраты на материалы

| Наименование материала | Цена, руб. | Норма расхода, кг/ шт | Сумма, руб. | Струк. затрат, % |
|------------------------|------------|-----------------------|-------------|------------------|
| Черные металлы         |            |                       |             | 36               |
| Чугун                  | 61,50      | 210,00                | 12915       |                  |
| Валовая сталь          | 58,21      | 150,00                | 8732        |                  |
| Сталь 2212             | 95,80      | 100,00                | 9580        |                  |

|                          |         |       |       |       |
|--------------------------|---------|-------|-------|-------|
| Цветные металлы          |         |       |       | 24    |
| Медь                     | 298,00  | 31,00 | 9238  |       |
| Латунь Л63               | 329,00  | 20,00 | 6580  |       |
| Алюминий АК7             | 174,00  | 30,10 | 5237  |       |
| Подшипник                | 2000,00 | 2,00  | 4000  | 5     |
| Кабельные изделия        |         |       |       | 24    |
| Обмоточный провод        | 955,00  | 20,00 | 19100 |       |
| Провод установ<br>ПВБсК  | 262,00  | 5,00  | 1310  |       |
| Изоляция                 |         |       |       | 11    |
| Ст.пласт ССПБИД 18х<br>3 | 221,00  | 21,00 | 4641  |       |
| Стеклотекстолит СТТ      | 200,00  | 6,00  | 1200  |       |
| Синтофлекс 51            | 240,00  | 4,00  | 960   |       |
| Пленка ПЭТ-Э             | 410,00  | 2,00  | 820   |       |
| Трубка ТКР               | 140,70  | 7,00  | 985   |       |
| Лакокраски               | 250,00  | 5,00  | 1250  |       |
| Всего                    |         |       | 86548 | 100,0 |

По таблице 13 видно, что основную часть материальных затрат составляют черные металлы (36%) и цветные металлы (43%).

Полная стоимость сырья и материалов включает транспортные расходы на их заготовление и приобретение и рассчитывается по формуле:

$$C_m = M \times K_{т.зр},$$

где  $K_{т.зр}$  - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

$$K_{т.зр} = 1,2 \text{ (по данным ООО «Воронежский электроремонтный завод»)}$$

$$C_m = 86548 \times 1,2 = 104 \text{ тыс.руб./шт.}$$

## 6.6. Расходы на силовую электроэнергию

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{\sum N \times t_{um} \times k_z \times k_{op} \times k_{zd} \times k_{nc} \times \Pi_z}{\eta}$$

где  $N$  - установленная мощность электродвигателей, кВт;

$K_z$  – средний коэф. загрузки электродвигателей по мощности;  $K_z = 0,65$

$K_{op}$  – коэффициент, учитывающий одновременность работы электродвигателей;  $K_{op} = 0,80$

$K_{zd}$  – средний коэф. загрузки электродвигателей во времени;  $K_{zd} = 0,85$

$K_{nc}$  – коэффициент потери электроэнергии в сети;  $K_{nc} = 1,05$

$\Pi_z$  – цена 1кВт часа электроэнергии руб/шт;  $\Pi_z = 5,5$  руб.

$\eta$  – средний коэффициент полезного действия двигателей  $\eta = 0,88$

Рассчитаем затраты на силовую электроэнергию, производства проектируемого асинхронного двигателя с фазным ротором и базового варианта асинхронного двигателя с фазным ротором с такими же характеристиками, произведенного ООО «Воронежский электроремонтный завод».

Результаты расчёта сводим в таблицу 14.

Таблица.14 Расчет расходов на силовую электроэнергию

| Станок    | Мощность, кВт | Трудоемкость, час/шт                                          |                                                | Стоимость электроэнергии, руб. шт                        |                                                |
|-----------|---------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|           |               | Проектируемый<br><b>Ошибка!</b><br>двигатель с фазным ротором | Базовый асинхронный двигатель с фазным ротором | <b>Ошибка!</b><br>асинхронный двигатель с фазным ротором | Базовый асинхронный двигатель с фазным ротором |
| Токарный  | 17,0          | 2,30                                                          | 2,40                                           | 111                                                      | 116                                            |
| Фрезерный | 11,0          | 1,70                                                          | 1,80                                           | 53                                                       | 56                                             |

|                |      |      |      |     |     |
|----------------|------|------|------|-----|-----|
| Точильный      | 4,0  | 0,70 | 0,70 | 8   | 8   |
| Сверлильный    | 3,0  | 1,00 | 1,00 | 9   | 9   |
| Прессовочный   | 3,5  | 1,20 | 1,30 | 12  | 13  |
| Штамповочный   | 10,0 | 0,40 | 0,45 | 11  | 13  |
| <b>Ошибка!</b> | 5,5  | 0,80 | 0,80 | 13  | 13  |
| Всего          |      |      |      | 217 | 227 |

Из таблицы 14 видно, что расход на силовую электроэнергию у проектируемого асинхронного двигателя с фазным ротором меньше на 10 руб./шт. или 5% чем у асинхронного двигателя с фазным ротором, произведенного ООО «Воронежский электроремонтный завод».

### 6.7. Полная заработная плата технологических рабочих

Полная заработная плата включает в себя основную и дополнительную заработную плату. Основная заработная плата рабочих определяется на основании трудоёмкости изготовления электрической машины по операциям. Она включает в себя тарифную заработную плату, премиальные, надбавки и выплаты по районному коэффициенту.

В таблице 6 рассчитана тарифная заработная плата основных рабочих.

Таблица.15–Тарифная заработная плата

| <b>Виды работ</b>                  | <b>Трудоемкость<br/>, ч/шт</b> | <b>Тарифная<br/>ставка,<br/>руб./час</b> | <b>Заработная<br/>плата,<br/>руб./шт.</b> |
|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Заготовительные                    | 1,00                           | 136,00                                   | 136                                       |
| Токарные                           | 2,76                           | 259,50                                   | 716                                       |
| Фрезерные                          | 2,04                           | 273,00                                   | 557                                       |
| Прессовочные                       | 1,44                           | 238,50                                   | 343                                       |
| Штамповочные                       | 0,48                           | 238,50                                   | 114                                       |
| Точильные                          | 0,84                           | 259,50                                   | 218                                       |
| Сверлильные                        | 1,20                           | 204,00                                   | 245                                       |
| Слесарные                          | 1,30                           | 173,00                                   | 225                                       |
| Намоточно-обмоточные               | 1,50                           | 173,00                                   | 260                                       |
| Шлифовочные                        | 0,96                           | 204,00                                   | 196                                       |
| Сборочные                          | 0,70                           | 159,00                                   | 111                                       |
| Отделочные                         | 0,50                           | 159,00                                   | 80                                        |
| Проверка (ОТК)                     | 0,30                           | 136,00                                   | 41                                        |
| <b>Итого по сдельным расценкам</b> |                                |                                          | <b>3242</b>                               |

$$Z_{осн} = Z_T \times Pr \times Hd,$$

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

$Z_T$  – тарифная заработная плата;

$Pr$  – коэффициент, учитывающий премиальные выплаты;  $Pr=1,2$

$Hd$  – надбавки; средний процент надбавок составляет 40% от тарифной заработной платы;

Основная заработная плата рассчитывается на основании данных планово-экономического отдела ООО «Воронежский электроремонтный завод».

$$C_{осн} = 3,2 \times 1,4 \times 1,2 = 5,4 \text{ тыс. руб./шт.}$$

Дополнительная заработная плата начисляется рабочим и служащим за непроработанное время, предусмотренное действующим законодательством. В

том числе оплата компенсаций, обучение учеников, времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей, очередных отпусков, по уходу за ребенком, выходное пособие при увольнении.

Дополнительная заработная плата учитывается так же, как и основная, и включается в фонд заработной платы предприятия. Дополнительная заработная плата составляет 10% от основной заработной платы.

$$C_{\text{доп}} = 5,4 \times 0,1 = 0,54 \text{ тыс. руб./шт.}$$

### **6.8. Отчисление во внебюджетные фонды**

Отчисления во внебюджетные фонды составляют 30,2% от суммы основной и дополнительной заработной платы

$$C_{\text{соц}} = (C_{\text{осн}} + C_{\text{доп}}) \times 0,302;$$

$$C_{\text{соц}} = (5,4 + 0,54) \times 0,302 = 1,79 \text{ тыс. руб./шт.}$$

### **6.9 Накладные расходы**

В расчёте используются данные ООО «Воронежский электроремонтный завод», в которых накладные расходы составляют фиксированный процент (35,5%) от суммы основной заработной платы.

Накладные расходы включают расходы по содержанию и эксплуатации оборудования, управлению предприятием, по реализации продукции и прочие, которые не могут быть непосредственно отнесены на ту или на иную продукцию, изготавливаемую на предприятии.

Накладные расходы рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{накл}} = C_{\text{осн}} \times k_{\text{накл}}$$

где  $k_{\text{накл}}$  – процент накладных расходов

Рассчитаем накладные расходы:

$$C_{\text{накл}} = 5,4 \times 0,355 = 1,917 \text{ тыс. руб./шт}$$

Расчёт себестоимости асинхронного двигателя с фазным ротором приведён в таблице. 13

Таблица.16 Расчёт себестоимости асинхронного двигателя с фазным ротором

| Наименование                                | Сумма<br>тыс. руб. | Удельный<br>вес, % |
|---------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Расходы на основные материалы               | 103,86             | 71,6               |
| Расход на сил.электроэнергию                | 0,22               | 0,2                |
| Полная заработная плата                     | 5,94               | 4,3                |
| Отчисления в социальные фонды               | 1,79               | 1,3                |
| Накладные расходы                           | 1,917              | 13,5               |
| <b>Итого производственная себестоимость</b> | <b>113,72</b>      | <b>90,9</b>        |
| Расходы на продажу (10%)                    | 13,00              | 9,1                |
| <b>Итого полная себестоимость</b>           | <b>126,72</b>      | <b>100,0</b>       |

Себестоимость проектируемого асинхронного двигателя с фазным ротором составляет 126 тыс.руб. Заметим, что большую часть себестоимости проектируемого асинхронного двигателя с фазным ротором составляют расходы на материал (71,6%).

## 7. Определение рентабельности продукции

Анализа цен продукции основных производителей и поставщиков двигателей этого типа на российском рынке, позволил сделать вывод, что средняя цена в начале 2017 года на подобные двигатели не превышает 150 тыс. руб. Что бы обеспечить стабильность спроса и успешность конкуренции, на проектируемый двигатель с улучшенными техническими характеристиками (а именно КПД) установили 150 тыс. руб. (без учета НДС).

Рентабельность продукции показывает отношение прибыли от реализации этой продукции (*Приб*) к ее себестоимости ( $C_{полн}$ ).

Рентабельность выпускаемого двигателя составит:

$$Рент = \frac{Приб}{C_{полн}} \times 100\% = \frac{150 - 126}{126} \times 100 = 19\%$$

## 7.1. Расчет прибыли, определение критического объема производства

Одним из основных финансовых показателей плана и оценки производственной деятельности организации является прибыль. За счёт прибыли осуществляется финансирование мероприятий по научно-техническому и социально-экономическому развитию.

Прибыль от реализации продукции представляет собой разницу между общей суммой выручки и затратами на производство и реализацию продукции.

Прибыль от реализации составит:

$$\text{Приб} = Ц_{\text{рын}} - C_{\text{полн}} = 150 - 126 = 24 \text{ тыс.руб} / \text{шт}$$

Критическая программа - это объем производства, при котором выручка от реализации продукции равна ее полной себестоимости. Критический объем производства определяется по формуле:

$$Q_{\text{кр}} = \frac{C_{\text{пост}}}{Ц - C_{\text{пер}}} \text{ шт} / \text{год},$$

где  $Ц$  – цена единицы продукции;

$C_{\text{пост}}$  – постоянные издержки, т.е. расходы, которые не зависят от объема от производства (в нашем случае принимаются в виде суммы накладных расходов и расходов на продажу).

$C_{\text{пер}}$  – переменные издержки, т.е. расходы, которые изменяются пропорционально объему производства (в нашем случае принимаются в виде суммы расходов на основные материалы, силовую электроэнергию, полную заработную плату, отчисления на социальные нужды).

$$Q_{\text{кр}} = \frac{140000}{150 - 126} = 5834 \text{ шт} / \text{год}$$

Диапазон безопасности - это важнейшая характеристика успешной работы предприятия, она определяется :

$$J_{\text{без}} = \frac{Q_t - Q_{\text{кр}}}{Q_t} \times 100\%$$

где  $Q_t$  - планируемый объем производства;

$Q_{кр}$  - критический объем производства.

$$J_{без} = \frac{6700 - 5834}{6700} \times 100\% = 12\%.$$

По данным расчётов построим графики безубыточности рисунок .

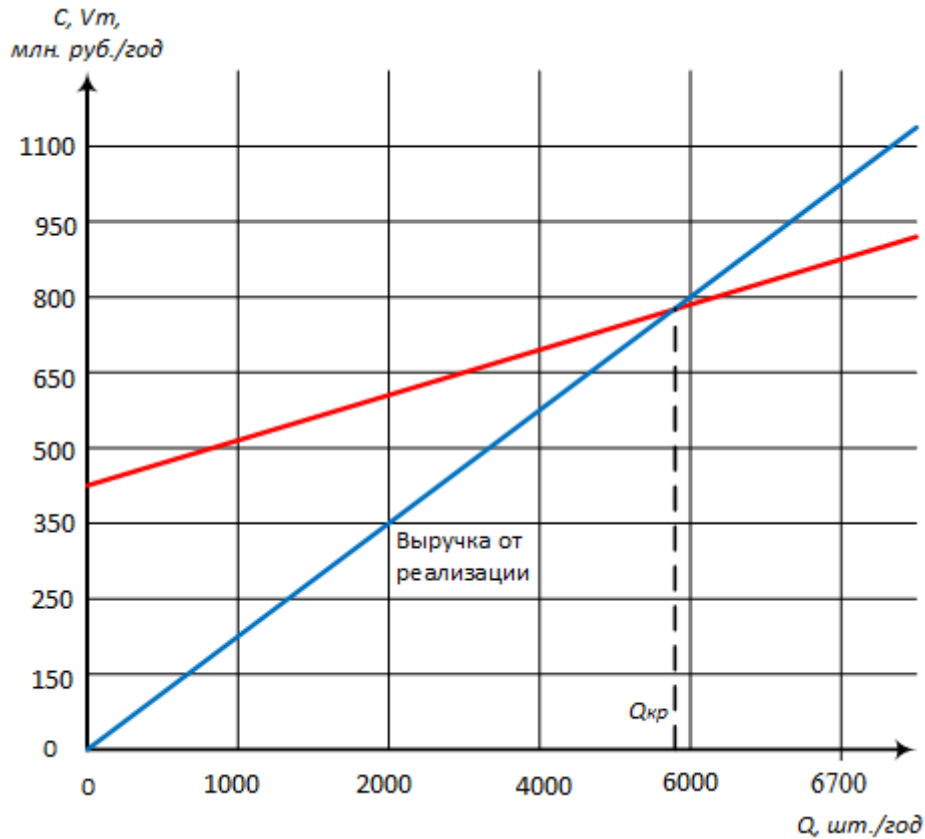


Рис.19– График безубыточности проектируемого двигателя.

где  $C$  – полная себестоимость, млн.руб./год;

$V_m$  – выручка от реализации, млн.руб./год;

$Q$  – Объем производства, шт./год;

Экономическая часть выпускной квалификационной работы была представлена с целью оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения инженерных решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Рассматривался технологический процесс разработки асинхронного двигателя. Производство данного типа двигателя при поддержании уровня продаж на уровне производства в 6700 шт./год можно считать прибыльным. Рентабельность данной продукции составляет 12%

Анализ позволил сделать вывод, что при проектировании данной продукции серьезных проблем не возникает.

## 7.2. Расчет экономии электроэнергии при эксплуатации асинхронного двигателя с фазным ротором

Приведем сравнение характеристик проектируемого асинхронного двигателя с фазным ротора и базового варианта асинхронного двигателя с фазным ротором, произведенного на ООО «Воронежский электроремонтный завод». Характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором представлены в таблице 17.

Таблица.17 – Характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором.

| <b>Ошибка!</b> | <b>Проектируемый асинхронный двигатель с фазным ротором</b> | <b>Базовый асинхронный двигатель с фазным ротором</b> |
|----------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Ошибка!</b> |                                                             |                                                       |
| , Вт           | 5000                                                        | 5000                                                  |
| Об/мин         | 1000                                                        | 1000                                                  |
| КПД, %         | 85,5                                                        | 83,2                                                  |
| Масса, кг      | 9300                                                        | 9500                                                  |

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{\sum N \times t_{\text{ум}} \times k_z \times k_{op} \times k_{zo} \times k_{nc} \times C_z}{\eta}$$

где  $N$  - установленная мощность электродвигателей, кВт;

$K_z$  – средний коэффициент загрузки асинхронный двигатель с фазным ротора по мощности;  $K_z=0,65$

$K_{op}$  – коэффициент, учитывающий одновременность работы асинхронного двигателя с фазным ротором;  $K_{op}=0,80$

$K_{zo}$  – средний коэффициент загрузки асинхронного двигателя с фазным ротором во времени;  $K_{zo}=0,85$

$K_{nc}$  – коэффициент потери электроэнергии в сети;  $K_{nc}=1,05$

$C_z$  – цена 1кВт часа электроэнергии руб./шт.;  $C_z=5,5$  руб.

$\eta$  – средний коэффициент полезного действия двигателей.

Рассчитаем затраты на силовую электроэнергию.

Проектируемый асинхронный двигатель с фазным ротором:

$$\Xi = \frac{5000 \times 0,65 \times 0,8 \times 0,85 \times 1,05 \times 5,4}{0,955} = 13121,2 \text{ кВт. / час}$$

Базовый асинхронный двигатель с фазным ротором:

$$\Xi = \frac{5000 \times 0,65 \times 0,8 \times 0,85 \times 1,05 \times 5,5}{0,942} = 13548,5 \text{ кВт. / час}$$

Из расчета видно, что при использовании проектируемого асинхронного двигателя с фазным ротором на силовую электроэнергию расходуется на 67 руб./час меньше, чем у базового варианта синхронного асинхронный двигатель с фазным ротором, произведенного ООО «Воронежский электроремонтный завод». Тем самым проектируемый асинхронный двигатель с фазным ротором ресурсоэффективнее, чем асинхронный двигатель с фазным ротором, произведенный ООО «Воронежский электроремонтный завод».

## **8. Социальная ответственность**

### **8.1. Анализ опасных и вредных факторов**

Отклонения температуры микроклимата ГОСТ РФ 12.0.003-74(1999г)

влажности воздуха от нормы могут возникнуть при неблагоприятных метеоусловиях. Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания либо обморожения. Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению. Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно ГОСТ РФ 30494—2011г

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление. Повышенный уровень шума на

рабочем месте СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум. Общие требования безопасности» (80 дБА); применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-87. Противошумные наушники.

## 8.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны.

Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма. В соответствии с характером выполняемых работ освещенность рабочего места по СанПин РФ №23-05-95 Расчет искусственного освещения ГОСТ 21.608 искусственного освещения территорий промышленных предприятий ГОСТ 21.607.

Таблица.18– Значение коэффициента запаса

| Характеристика объекта               | Люминесцентные лампы | Лампы накаливания |
|--------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Помещения с большим выделением пыли  | 2,0                  | 1,7               |
| Помещения со средним выделением пыли | 1,8                  | 1,5               |
| Помещения с малым выделением пыли    | 1,5                  | 1,3               |

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

- обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослеплённости и необходимой направленности света на рабочие места;
- наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

Система освещения производственных помещений:

- Общее равномерное освещение лампами накаливания;

Тип светильника:

- Универсальный без затемнителя;

Выполняемые работы имеют высокую точность и относятся к 1 категории.

Размеры производственного помещения:

- Высота 5 м;
- Длина 48 м;
- Ширина 9 м;

Потолок и стены светлые, пол темный.

Площадь помещения:

$$S = AB = 9 \cdot 48 = 432 \text{ м}^2.$$

Находим величину минимально допустимой табличной освещенности:

$$E_n = 100 \text{ лк}$$

По условию слепящего действия высота подвеса светильника над полом: 4м.

Свес светильника:  $h_e = 1 \text{ м}$ .

Тогда высота подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h = 6 - 1 - 0.8 = 4.2 \text{ м},$$

где 0.8 - высота рабочей поверхности.

Произведем предварительную разметку светильников. Расстояние между светильниками  $L$  определяется, как выгоднейшее:

$$\frac{L}{h} = 1.1 \quad L = 1.1 \cdot 4.2 = 4.64 \text{ м}.$$

Устанавливаем светильники по длине (отступив от стен 2м) на расстоянии 4.4м.

Устанавливаем светильники по ширине (отступив от стен 2м) на расстоянии 5м.

В результате разметки принимаем 20 светильников.

Для определения коэффициента использования находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{432}{4.2 \cdot (48 + 9)} = 1.8.$$

Коэффициент использования:

$$\eta = 0.43.$$

Расчетный световой поток:

$$F = \frac{E_n kSZ}{n\eta} = \frac{100 \cdot 1.3 \cdot 432 \cdot 1.1}{20 \cdot 0.43} = 7183.3 \text{ лм}$$

где k - коэффициент запаса;

Z - коэффициент, учитывающий отклонение от средней величины.

По полученному потоку подбираем мощность лампы для работы на напряжение 220 В. Наиболее подходящей лампой является лампа мощностью 500 Вт со световым потоком 8100 лм.

Принимаем 18 светильников. В связи с этим проведем окончательную разметку светильников.

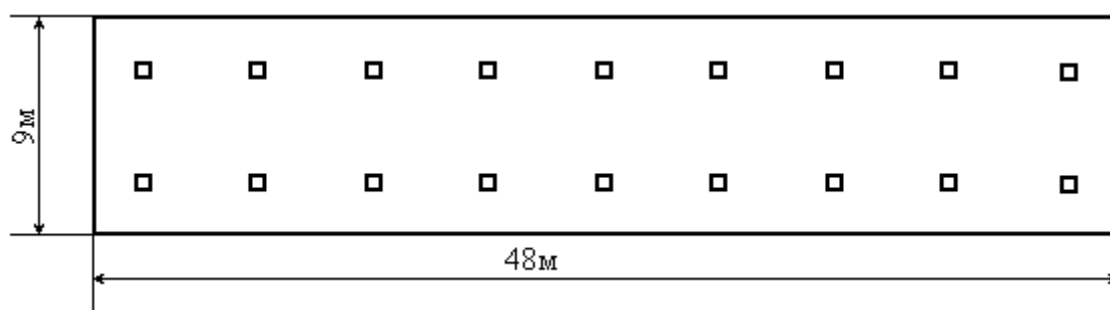


Рис.20 План помещения в масштабе.

### 8.3. Опасные факторы

Повышенный уровень вибрации по ГОСТ 31192 – 2004 ССБТ влияние на здоровье человека импульсной вибрации изучено недостаточно. При необходимости настоящий стандарт можно использовать и для оценки воздействия в форме повторяющихся ударов, но следует учитывать, что при одинаковых количественных оценках эффект воздействия локальной вибрации на состояние здоровья может быть разным в зависимости от вида вибрации. Кроме того, в случае импульсной вибрации (переходных процессов), как правило, возрастает неопределенность оценок параметров. В процессе работы с ручными машинами любого типа и с приводом любого вида (электрическим, пневматическим, гидравлическим, от двигателя внутреннего сгорания), на машинах с ручным управлением, при обработке на станках вручную

удерживаемых деталей на кисть и плечо оператора может передаваться значительная вибрация. В зависимости от вида и места проводимых работ эта вибрация может воздействовать как на одну руку, так и на обе руки сразу, являясь источником дискомфорта и снижая производительность труда. Кроме того, установлено, что регулярное длительное воздействие локальной вибрации может быть причиной заболеваний, затрагивающих разные органы человека: кровеносные сосуды, нервную систему, кости, суставы, мышцы, соединительную ткань кисти и предплечья.

Индивидуальные средства защиты

– виброзащитных рукавиц ГОСТ 12.4.002— 74

– виброзащитной обуви ГОСТ 12.4.024— 76

« Вибрационная безопасность. Общие требования», СанПиН РФ 2.2.2.540-96. Санитарные нормы общей и локальной вибрации на рабочих местах (7дБ); ГОСТ -17187

–Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, напряжение прикосновения и тока; ГОСТ 12.1.030-82 (1997г.)

Основными причинами воздействия тока на человека являются: случайное прикосновение к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала; появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки; освобождение другого человека, находящегося под напряжением; воздействие атмосферного электричества, грозových разрядов.

С точки зрения электробезопасности (ГОСТ 12.1.030-82 (1997г.) оборудование, запитываемое напряжением выше 42 В, должно быть заземлено или занулено применение средств индивидуальной защиты (ГОСТ 12.74.011-89) средства защиты ног ГОСТ Р 532652009 средства защиты рук ГОСТ 12.4.252-2013

#### **8.4. Экологическая безопасность**

Негативное воздействие объекта на окружающую среду практически отсутствует кроме небольшого количества отходов в виде отработанных материалов для исследований. Активной формой защиты окружающей среды является переход к безотходным и малоотходным технологиям: разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы . Пассивные методы защиты окружающей среды включают комплекс мероприятий по ограничению выбросов промышленного производства с последующей утилизацией и захоронением отходов

Создание и обустройство санитарно-защитной зоны предприятия.ГОСТ Р 52985-2008

Основными источниками загрязнения могут быть отходы (осадок, мусор), образовавшиеся в процессе очистки сточной воды. Переход к безотходным и малоотходным технологиям, разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы, уменьшит загрязнения окружающей среды.

#### **8.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Возможные ЧС на объекте: - производственные аварии и пожары ППБ-79;  
Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС: в помещениях где идет обслуживания и эксплуатация оборудования установлены огнетушители типа ОУ-5, ОП-5 а так же звуковая и световая сигнализация (ГОСТ 2853а-2014)  
Для повышения устойчивости объекта к пожарам необходимо использовать огнеупорные материалы, а также ознакомить персонал с режимом работы объекта в случае возникновения ЧС и обучить выполнению конкретных работ по ликвидации очагов поражения. Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются: составление планов эвакуации; назначение лица,

ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц; ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации, который должен висеть на видном месте. Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

В случае возникновения пожара спасательные формирования гражданской обороны ГО должны как можно быстрее приступить к работам по спасению людей, действуя совместно с формированиями ГО медицинской службы. Спасатели ГО немедленно начинают эвакуацию, обеспечивают работников средствами индивидуальной защиты, оказывают при необходимости первую медицинскую помощь, вызывают противопожарную охрану. При недостатке сил своего объекта для спасательных работ распоряжением старшего начальника могут привлекаться территориальные формирования ГО и другие силы. До прибытия пожарной охраны возгорание ликвидируется по возможности первичными средствами пожаротушения.

#### **8.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (ГОСТ 12.02.032.78) работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего категории работ - по ГОСТ 12.1.005-88.

Рабочее место должно соответствовать требованиям (ГОСТ 12.02.032.78): рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество; рабочий стул должен иметь дизайн, исключая онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте; рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

В соответствии с СН-245-71 в помещении должен быть организован воздухообмен. Для улучшения воздухообмена необходимо выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования: общий объем притока воздуха в помещении должен соответствовать объему вытяжки; правильное размещение приточной и вытяжной вентиляции.

В соответствии с СН-181-70 рекомендуются следующие цвета окраски помещений: потолок - белый или светлый цветной; стены - сплошные, светло-голубые; пол - темно-серый, темно-красный или коричневый. Применение указанной палитры цветов обусловлено ее успокаивающим воздействием на психику человека, способствующим уменьшением зрительного утомления. При выполнении интерьера, обычно выбирают не более трех основных цветов небольшой насыщенности. Окраска оборудования и приборов, в основном, имеет светлые цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним.

## Заключение

В данной работе был спроектирован трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором.

В начале расчета двигателя были получены значения электромагнитных нагрузок  $A$  и  $B_\delta$ , входящие в рекомендуемые пределы, основанные на исследовании работающих двигателей серии АИР. От электромагнитных нагрузок зависят не только размеры машины, а также и ее характеристики. Число пазов статора принято стандартному и равно  $Z_1=54$ , т.е. обмотка имеет целое число пазов на полюс и фазу ( $q=3$ ).

Плотность тока в обмотке статора получилась значительной, что характерно для двигателей небольшой и средней мощности. Для обмотки статора используется стандартный эмалированный провод, это позволяет применять механизированную укладку обмотки, коэффициент заполнения паза соответствует механизированной укладке. В расчете зубцовой зоны статора была принята конфигурация пазов, при которой зубцы имеют постоянное поперечное сечение по всей высоте, т.е. в зубцах не будет участков с разной индукцией.

Воздушный зазор был выбран небольшим, что приводит к уменьшению магнитодвижущей силы магнитной цепи и тока намагничивания. При этом будут уменьшаться суммарные потери, благодаря чему в расчете рабочих характеристик повысились значения  $\cos \varphi$  и КПД. Число пазов ротора выбрано по рекомендациям, основанным на изучении влияния соотношений числа зубцов статора и ротора на кривую момента, а также шумы и вибрации. Паза ротора выполнены без скоса. При расчете рабочих характеристик получили уточненные значения номинального тока обмотки статора и мощности, потребляемой двигателем, которые меньше, чем принятые в начале работы предварительно.

Тепловой расчет показал, что у двигателя имеется небольшой температурный запас по температуре нагрева обмотки статора (для класса изоляции F), а вентилятор обеспечивает расход воздуха почти с двукратным запасом.

Спроектированный двигатель отвечает поставленным в техническом задании требованиям.

### Список литературы:

- 1.Проектирование электрических машин: Учеб.пособие для вузов/И.П. Копылов, Ф.А.Горяинов, Б.К.Клоковидр.; Под ред. И.П.Копылова М.:Энергия,1980.-496с.,ил.
- 2.Антонов М.В.Технология производства электрических машин. М:Энергоиздат,1982.512с.
- 3.Горбацевич А.Ф.,Шкред В.А.Курсовое проектирование по Технологии машиностроения. Учебное пособие:М.2007.256с.
- 4.Проектирование тяговых электрических машин. /Подред. М.Д. Находкина.—М.:«ТРАНСПОРТ»,1976.-624с.
- 5.Справочник технолога-машиностроителя. В2-хт.Т.2/Подред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова.—М.:Машиностроение,1985.-656с.
- 6.Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: Учеб.пособие/Том. политехн.ун-т.—Томск,2002.—100с.
- 7.Плахов А.М. Безопасность жизнедеятельности: Учеб.пособие.— Томск: Изд.ТПУ,2000.—156с.
- 8.Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/Подобщ.ред. С.В.Белова.- М.: Высшая школа,2007.-616с.
- 9.Федосова В.Д Расчет искусственного освещения. Мет.указ.-Томск: ТПУ,1991.-16с
- 10.Справочная книга по светотехнике/Подред.А.Ю. Айзенберга-М.: Энергоатомиздат,1983.-471с.
- 11.Шепеленко Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии: Учебное пособие /Г.И.Шепеленко.— 2-еизд.,доп.иперераб.—Ростов-на-Дону:МарТ,2000.—544с.—ISBN 5-241-00014-3.
- 12.ГОСТ12.1.003–83(1999) ССБТ.Шум. Общие требования безопасности
- 13.ГОСТ12.1.004–91ССБТ.Пожарная безопасность.

Общие требования(01.07.92).

14.ГОСТ 12.1.005–88 (сизм.№1от2000г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны(01.01.89).

15.ГОСТ 12.1.019-79 (сизм.№1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

16.ГОСТ 12.1.030-81ССБТ. Защитное заземление, зануление

17.СНиП2.04.05-91.Отопление, вентиляция и кондиционирование.

18.СНиП21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

М.: Гострой России, 1997. –с.12.

19.СанПиН 2.2.4.548-96.Гигиенические требования к микроклимату  
Производственных помещений

20.Правила устройства электроустановок.6-еизд.сизм.идополн.—  
СПб,1999.—123с.

21.ГОСТ12.1.038-82ССБТ. Электробезопасность. Предельно  
допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

22.ГОСТ12.1.012-90- Вибрационная безопасность. Общие требования

23.ГОСТ ИСО8995-2002 Освещение рабочих мест внутри зданий.

24.СП52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.

25.НПБ105-03-Нормы пожарной безопасности

26.Общемашиностроительные нормативы режимов резания для  
технического нормирования работ на металлорежущих станках. М.:  
Машиностроение1974.-Ч.1.Токарные, карусельные,  
токарноревольверные, алмазно-расточные, сверлильные, долбежные и  
фрезерные станки.—416с.

27.Планирование на предприятии: Учебное пособие для вузов/А.И.  
Ильин.—2-еизд.,перераб.Минск:Новое знание,2001.—634 с.:ил.

28.<http://td-elcom.ru/td/blokirezistorov.html>

29.Гольдберг О.Д.,ГуринЯ.С., Свириденко И.С. Проектирование  
электрических машин: Учебник для вузов /Под редакциейО.Д.  
Гольдберга.М.:Высш.Школа2001.