

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

Институт Институт электронного обучения
Специальность 140601.65 Электромеханика
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Проектирование асинхронный двигатель для привода насосного агрегата.

УДК 621.313, 333:621.65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
К-7302	Туляганов С. И.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тютева П. В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузмина Н.Г.			

По разделу «Технологический часть»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов П.Р.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	Д.Т.Н.		

Запланированные результаты обучения 140601 Электромеханика

P1 Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы; готовность применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.

P2 Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области для решения коммуникативных задач.

P3 Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля; осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования; уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.

P4 Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства коллективом исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами; уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.

P5 Демонстрировать знание социальных, правовых, культурных и экологических аспектов профессиональной деятельности, знание вопросов охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на электроэнергетических и электротехнических производствах.

P6 Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты профессиональной деятельности.

Общепрофессиональные компетенции

P7 Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности с целью моделирования элементов, систем и объектов электроэнергетики и электротехники.

P8 Способность применять стандартные методы расчета и средства автоматизации проектирования; принимать участие в выборе и проектировании элементов, систем и объектов электроэнергетики и электротехники в соответствии с техническими заданиями.

P9 Способность применять современные методы разработки энергосберегающих и экологически чистых технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий; применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов на электроэнергетическом и электротехническом производствах.

P10 Готовностью обеспечивать соблюдение производственной и трудовой дисциплины на электроэнергетическом и электротехническом производствах; осваивать новые технологические процессы производства продукции; обеспечивать соблюдение заданных параметров технологического процесса и качества продукции.

P11 Способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.

P12 Способность проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов; планировать экспериментальные исследования; применять методы стандартных испытаний электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники.

P13 Способность участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности на основе систематического изучения научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, патентных исследований по соответствующему профилю подготовки.

P14 Способностью к монтажу, регулировке, испытаниям, сдаче в эксплуатацию, наладке и опытной проверке электроэнергетического и электротехнического оборудования.

P15 Готовность осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организации профилактических осмотров и текущего ремонта.

P16 Способность разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию, выполнять проектно-конструкторские работы в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации электроэнергетических и электротехнических объектов, организовывать метрологическое обеспечение; подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

Институт Электронного обучения
Направление подготовки (специальность) 140601.65 «Электромеханика»
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломный проект

Студенту:

Группа	ФИО
3-7302	Туляганов Санджар Иномидинович

Тема работы:

Проектирования асинхронный двигатель для привода насосного агрегата	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1804/с от 04.03.2016г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2016г
--	-------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Мощность 11 кВт; число фаз 3; напряжение питания 220/380 В; высота оси вращения 132 мм; частота вращения 1500 об/мин; степень защиты IP 44; конструктивное исполнение IM1001; система охлаждения ISO141.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов,</i></p>	<ol style="list-style-type: none">1. Электромагнитный расчет электродвигателя.2. Технологический процесс общей сборки асинхронного двигателя.3. Оценка технического уровня.4. Безопасность технологического процесса изготовления обмотки статора асинхронного двигателя5. Оценка изменение энергетических характеристик асинхронного двигателя при

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	изменении напряжение питание.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сборочный чертеж асинхронного двигателя. 2. Электромагнитный расчет. 3. Схема обмотки статора. 4. Пазовая зона асинхронного двигателя. 5. Специальная часть. 6. Технологический часть.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Электромагнитный расчет, специальная часть»	Тютева П. В.
«Технологическая часть»	Баранов П.Р.
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Кузьмина Н.Г.
«Социальная ответственность»	Сечин А.А.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тютева П. В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7302	Туляганов Санджар Иномидинович.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
К-7302	Туляганову С.И.

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	140601.65 Электромеханика

Исходные данные к разделу «Технологический процесс общей сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором»

1. Сборочный чертеж асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, спецификация;
2. Годовая программа выпуска изделия 5500 штук

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

- | | |
|--|--|
| 1. Анализ конструкции электрической машины на технологичность | 2. Рассчитать размерные цепи методом полной взаимозаменяемости (проектный метод, два замыкающих звена) |
| 3. Составить схему сборки электрической машины | 3. Выбрать оборудование, приспособления для сборки и испытаниям 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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Баранов П.Р.	К.Т.Н., доцент		10.01.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
К-7302	Туляганов С.И.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
К-7302	Туляганов С.И.

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	140601 Электромеханика

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

1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*

...

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)*

Смета затрат на проект.

2. *Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР*

Оценка технического уровня

3. *Составление бюджета инженерного проекта (ИП)*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. *Оценка конкурентоспособности ИР*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузмина Н.Г.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
К-7302	Туляганов С.И.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
К-7302	Туляганов С И

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования		Направление/специальность	Электромеханика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (электромеханик) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (вредные вещества, освещение, шумы, вибрации,)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, пожарной и взрывной природы)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
- чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- микроклимат
- расчет освещения
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью;
- предлагаемые средства защиты:

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности

- механические опасности
- электробезопасность
- пожаровзрывобезопасность профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

3. Охрана окружающей среды:

- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);

4. Защита в чрезвычайных ситуациях:

- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	к.т.н., доцент		15.03.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
К-7302	Туляганов С И		

Реферат

Выпускная квалификационная работа ____ стр., ____ рисунков, ____ таблиц, ____ источник, ____ л. графического материала.

Асинхронный двигатель, насос, короткозамкнутый ротор, статор, пусковая характеристика.

Объектом проектирования является асинхронный двигатель, предназначенный для привода насосного агрегата.

В процессе работы спроектирован асинхронный двигатель, а именно: рассчитаны главные размеры, обмотка статора, ротор, магнитные цепи, потери, рассчитаны рабочие и пусковые характеристики, произведен механический расчет вала и тепловой расчет двигателя. Также разработан технологический процесс общей сборки двигателя, рассчитана себестоимость данного проекта. В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе изготовления обмоток двигателя. В специальной части произведено расчет влияние питающего напряжение на энергетические параметры асинхронного двигателя.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord2013, чертежи выполнены в графических редакторах Kompas-3DV16.

Содержание

	Введение	7
1	Электромагнитный расчет	9
1.1	Выбор основных размеров	9
1.2	Определение числа пазов, количества витков и площади поперечного сечения провода обмотки статора	10
1.3	Расчёт зубцовой зоны статора и воздушного зазора	14
1.4	Расчет ротора	16
1.5	Расчет магнитной цепи	21
1.6	Параметры рабочего режима	24
1.7	Расчёт потерь	29
1.8	Расчёт рабочих характеристик	32
1.9	Расчёт пусковых характеристик	33
2	Тепловой расчёт	39
3	Механический расчёт вала	43
4	Специальная часть	51
5	Технология общей сборки асинхронного двигателя	58
5.1	Описание конструкции и служебного назначения	58
5.2	Оценка технологичности конструкции	61
5.3	Размерный анализ конструкции электродвигателя методом полной взаимозаменяемости	65
5.4	Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки электрической машины	71
5.5	Выбор сборочного оборудования, оснастки и подъёмно-транспортных средств	74
5.6	Нормирование сборочных работ и расчет количества технологического оборудования	75
5.7	Определение потребного количества оборудования	78
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	83

6.1	Смета затрат на проектирование	83
6.2	Оценка технического уровня	87
7	Социальная ответственность	93
7.1	Анализ опасных и вредных факторов	93
7.2	Техника безопасности	94
7.3	Производственная санитария	95
7.4	Расчет искусственного освещения	97
7.5	Микроклимат	102
7.6	Пожарная безопасность	103
7.7	Чрезвычайная ситуация функционирования территорий и объектов в чрезвычайных ситуациях	107
7.8	Охрана окружающей среды	108
	Заключение	111
	Список использованных источников	113
	Приложение А. Расчет рабочих характеристик	115
	Приложение Б. Расчет пусковых характеристик	117
	Приложение В. Развернутая схема обмоток статора	119
	Приложение Г. Маршрутная карта общей сборки асинхронного двигателя	120
	 Графический материал	
	ФЮРА.525200.001 СБ Сборочный чертеж двигателя	
	ФЮРА.525200.002 Электромагнитный расчет	
	ФЮРА.525200.003 Развернутая схема обмотки	
	ФЮРА.525200.004 Пазовая зона асинхронного двигателя	
	ФЮРА.525200.005 Специальная часть	
	ФЮРА.525200.006 Технологическая часть	

Введение

Асинхронные двигатели для насосных агрегатов отличаются от общепромышленных по своим нагрузочным характеристикам и режимам работы от других механизмов, вследствие чего их можно рассматривать с точки зрения условий работы электропривода как специфический класс нагрузочных машин – механизмы с вентиляторной характеристикой. Эти механизмы используются во многих отраслях промышленности в большом количестве.

Турбомеханизмы являются машинами массового применения. Достаточно сказать, что около 25 % всей электроэнергии, вырабатываемой в стране, расходуется на электропривод насосов, вентиляторов и компрессоров.

В современном мире большую роль играет простота и удобство обслуживания, таким образом применение асинхронные двигатели упрощает нашу жизнь. В работе мы рассмотрим асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, предназначенный для работы в составе.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором отличаются: низкой стоимостью по отношению к другим двигателям; являются наиболее подходящими для небольших насосов (до 100 кВт); условиями прямого асинхронного пуска; высокой кратностью пускового тока, который в 5 – 7 раз выше номинального тока.

Обмотки ротора у асинхронных двигателей с фазным ротором подключаются с внешним пусковым сопротивлением через три контактных кольца со скользящими щетками, поэтому такие электродвигатели имеют более сложную и дорогую конструкцию. При пуске такого электродвигателя к ротору подключаются добавочные сопротивления чтобы уменьшить пусковой ток и обеспечить плавный пуск.

Для насосов больших мощностях длительные продолжительности работы применяются синхронные электродвигатели переменного тока. Главным недостатком синхронных двигателей является то, что при пуске двигателя момент вала равен нулю, поэтому их нужно раскручивать тем или другим путем

до скорости, близкой к синхронной. Для этого в роторе устанавливается дополнительная пусковая короткозамкнутая обмотка, подобную обмотке ротора асинхронного двигателя.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором больше подходят для привода небольших насосов. Так как, они имеют более простую конструкцию чем других типов электродвигателей. Пуск такого двигателя производится без дополнительных устройств, что позволяет упростить электрическую схему управления.

В данном выпускной квалификационной работе был спроектирован асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором предназначенный для насосного агрегата мощность 11 кВт; число фаз 3; напряжение питания 220/380 В; высота оси вращения 132 мм; частота вращения 1500 об/мин; степень защиты IP 44; конструктивное исполнение IM1001; система охлаждения IC0141.

4. Специальная часть

В промышленности в результате изменения нагрузки на электрическую сеть, а также под воздействием внешних воздействий возможны колебания напряжения питания электроприборов. В частности, для асинхронных электродвигателей оговорены отклонения напряжения в ГОСТ. В ГОСТ 16264.1-85 Двигатели асинхронные. Общие технические условия, говорится о том, что «суммарное отклонение частоты и напряжения не должно превышать $\pm 10\%$ от номинального значения напряжения».

Однако в ГОСТ Р 50034-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Двигатели асинхронные напряжением до 1000 В, имеет место «отклонения практически симметричного и синусоидального напряжения при номинальной частоте проводят при двух значениях отклонения напряжения: $+10$ и -5% ».

Таким образом, было принято решение произвести расчет электродвигателя при разных напряжениях питания и посмотреть полученные расчетные значения данной машины. Изменение напряжения выбран исходя из максимально возможного отклонения напряжения ($\pm 20\%$) с запасом в случае непредвиденных обстоятельств при эксплуатации.

Все расчеты сведем в табл. 4.1.

Табл. 4.1 Результаты расчета

U (B)	+20%	+15%	+10%	+5%	U_H	-5%	-10%	-15%	-20%
	264	253	242	231	220	209	198	187	176
I_1 (A)	17,84	18,56	19,24	20,5	21,7	23,22	25,06	27,89	32,51
Γ_2 (A)	15,66	16,47	17,2	18,5	19,87	21,37	23,23	26,13	30,57
$P_{\text{эл}}$ (BТ)	481	520,93	559,8	634,6	715,93	815,2	949,7	1176,4	1597,8
$P_{\text{эл}}$ (BТ)	254,4	281,5	307,6	356,8	412,23	473,62	560	703,7	970
$P_{\text{ст}}$ (BТ)	381,5	350,35	325,87	292,07	265,7	239,09	214,5	191,4	169,55
r_{1*} (o.e)	0,034	0,036	0,039	0,044	0,049	0,054	0,060	0,067	0,076
r_{2*} (o.e)	0,023	0,025	0,0272	0,03	0,033	0,037	0,041	0,046	0,052
X_{1*} (o.e)	0,072	0,078	0,084	0,094	0,104	0,114	0,127	0,143	0,161
X_{2*} (o.e)	0,107	0,117	0,125	0,14	0,154	0,171	0,190	0,213	0,241
η (%)	0,89	0,89	0,89	0,886	0,878	0,869	0,8554	0,83	0,79
$\cos(\varphi)$ (%)	0,869	0,873	0,875	0,877	0,875	0,871	0,8632	0,845	0,80
Θ_M (°C)	51,6	54,16	56,8	62,2	68,7	75,87	86,4	104,6	138,9
$I_{\text{п}}^* \text{ o.e.}$	9,71	8,94	8,32	7,39	6,61	5,9	5,18	4,398	3,55
$M_{\text{п}}^* \text{ o.e.}$	2,95	2,7	2,51	2,23	2,008	1,81	1,61	1,41	1,22

По данным табл. 4.1 построим характеристики $P_{\text{э1}}=f(U)$, $P_{\text{э2}}=f(U)$, $P_{\text{ст}}=f(U)$, $\eta=f(U_1)$, $\cos(\varphi)=f(U_1)$, $\Theta_{\text{м}}=f(U_1)$, $I_{\text{п*}}=f(U_1)$, $M_{\text{п*}}=f(U_1)$, изображенных на рис. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 соответственно.

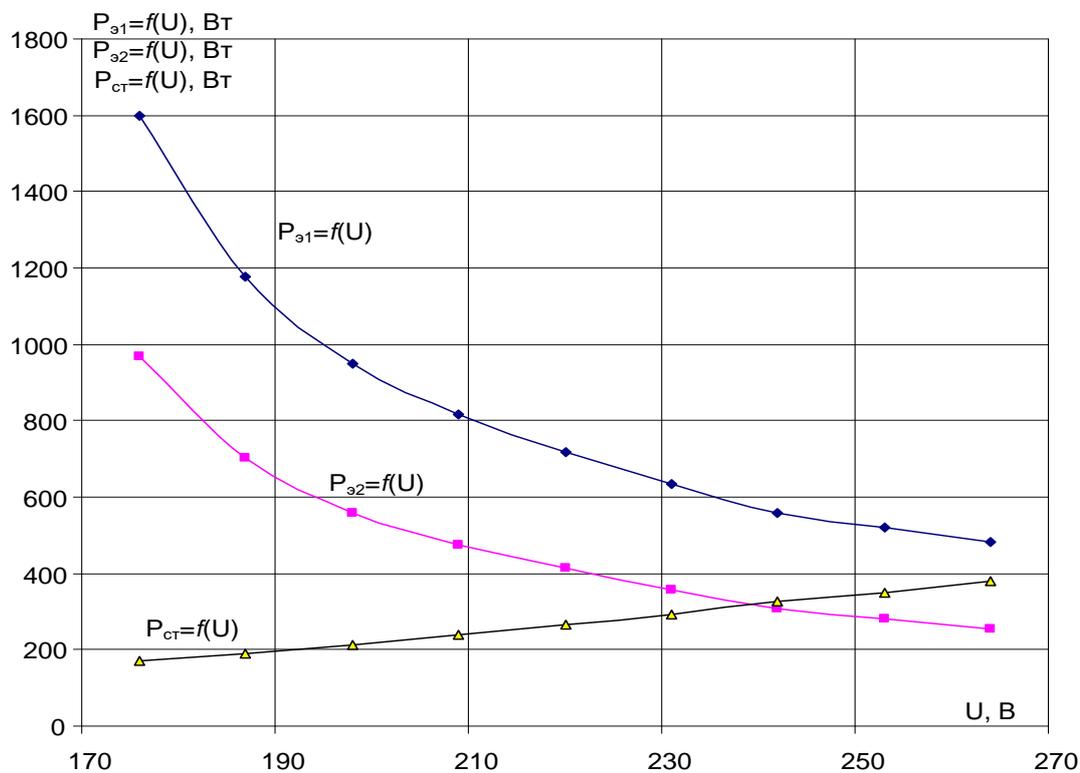


Рис. 4.1 Характеристики $P_{\text{э1}}=f(U_1)$, $P_{\text{э2}}=f(U)$, $P_{\text{ст}}=f(U_1)$

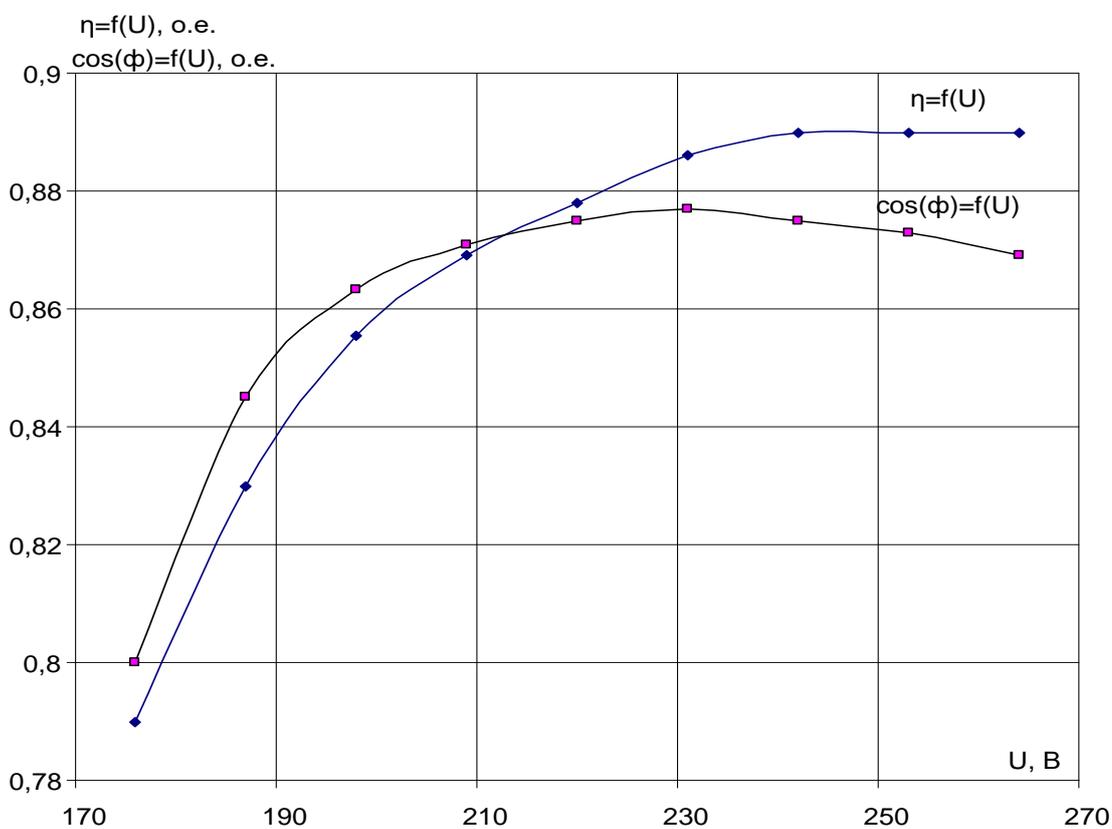


Рис. 4.2 Характеристики $\eta=f(U)$, $\cos(\varphi)=f(U)$

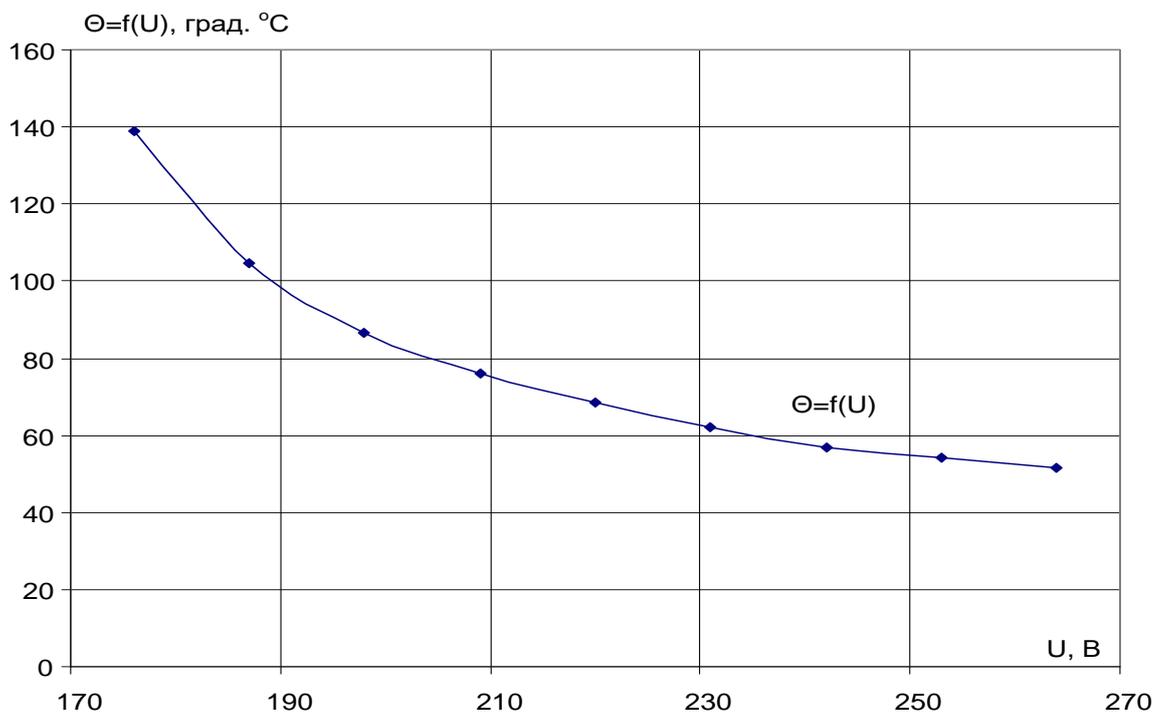


Рис. 4.3 Характеристика $\Theta_M=f(U)$

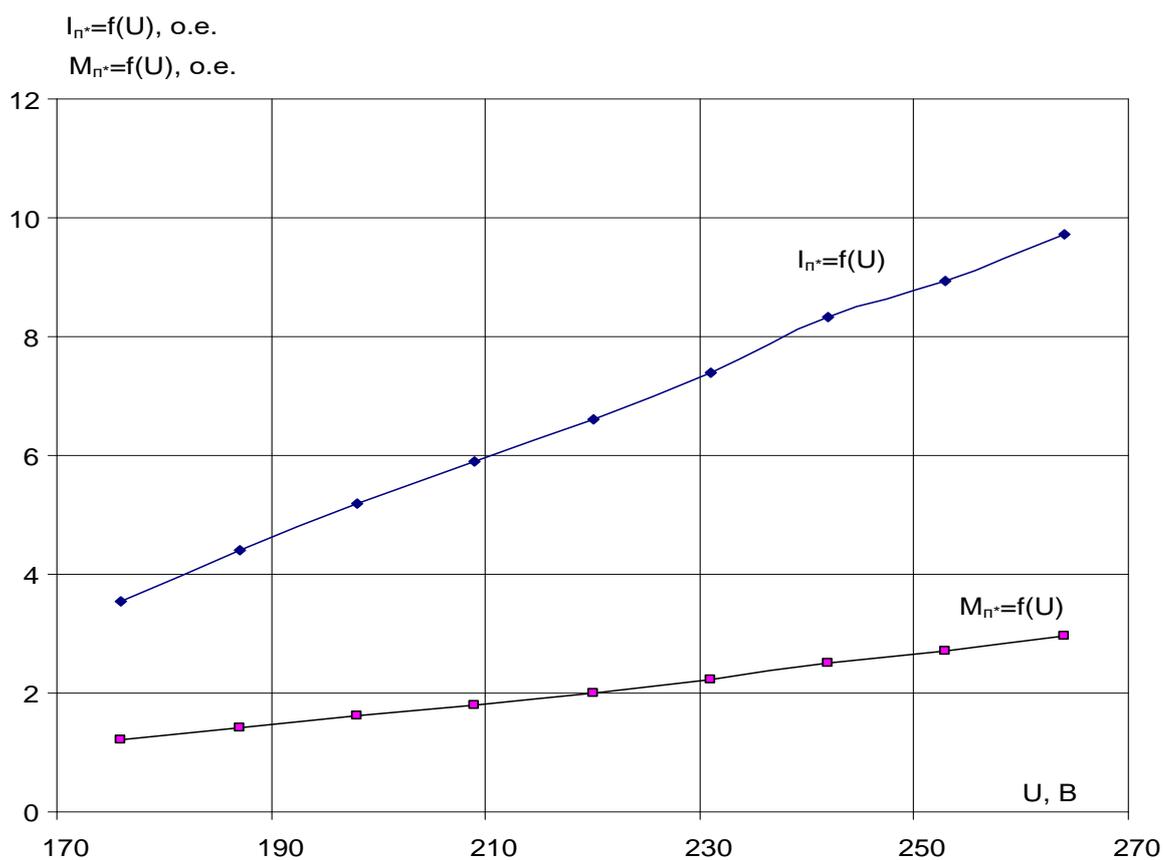


Рис. 4.4 Характеристики $I_{\Pi^*}=f(U_1)$, $M_{\Pi^*}=f(U_1)$

В заключение, можно сказать, что изменение питающего напряжения отрицательно влияет на работу электрических машин, особенно это относится к понижению напряжения питания. При понижении напряжения питания повышаются токи в обмотках статора и ротора (рис. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4), и как результат, происходит рост электрических потерь в обмотках пропорционально квадратам токов. Вслед за ростом потерь повышается температура электродвигателя над температурой окружающей среды до 139 °С, что является недопустимым, так же понижается КПД и $\cos(\phi)$ при напряжении -20%. Одновременно с этим происходит уменьшение магнитной индукции, за счет уменьшения напряжения питания, это приводит к снижению потерь в активной стали статора.

Пуск электродвигателя с низким значением напряжения характерен малой кратностью тока и момента, что может быть критично, если пусковой момент меньше требуемого заказчиком момента, что может привести к торможению. Как результат такой работы – аварийная ситуация и остановка привода.

Обратная ситуация наблюдается, когда электродвигатель работает при повышенном напряжении питания. При повышенном напряжении происходит снижение потерь в обмотках и незначительное повышение потерь в стали магнитопровода из-за увеличения значения индукции. Температура электродвигателя над температурой окружающей среды двигателя снижается, что существенно скажется на пожарной безопасности, однако, повышение напряжения более чем на 10% не рекомендуется из-за возможности повышенного нагрева активной стали статора, при этом могут появиться точки локального перегрева в магнитопроводе, которые в дальнейшем могут вызвать выход из строя двигателя.

Значения КПД при повышенном напряжении питания достигают максимальных значений, однако, происходит снижение $\cos(\phi)$, в результате появления большей реактивной составляющей мощности. Пусковой момент при максимальном значении напряжении питания приобретает максимальное

значение, что является хорошим показателем. Но значение пускового тока значительно превышает допустимую величину, это может привести к поломке пусковой аппаратуры.

Главным критерием при выполнении данного задания является уложиться в требуемый $\pm 10\%$ диапазон регулирования напряжения питания (согласно ГОСТ). Согласно рис. 4.3 максимальное значение температура электродвигателя над температурой окружающей среды $86,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, что является допустимой (не более $100\text{ }^{\circ}\text{C}$), $\cos(\varphi)$ отклоняется от номинальных значений на $1,35\%$, а КПД – $2,6\%$, что входит в 5% погрешность.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

6.1 Смета затрат на проектирование

В разработке данного электродвигателя участвовали три инженерных работника: научный руководитель и два инженера.

Распределение занятости исполнителей сводим, в табл. 6.1.

Табл. 6.1 План разработки выполнения этапов проекта.

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители		Разряд	Продолж. (дней)
		Кол-во	Должность		
1	Получение тех. задания на разработку проекта	2	научный руководитель	15	1
			инженер	10	
2	Сбор исходных данных	1	инженер	10	2
3	Ознакомление с технической документацией	1	инженер	10	2
4	Электромагнитный расчет двигателя	1	инженер	10	7
5	Электромагнитный расчет двигателя с другими данными (Спеч. часть)	1	инженер	10	4
6	Проверка выполненных расчётов	2	научный руководитель	15	1
			инженер	10	
7	Выполнение чертежей, схем	2	инженер	10	2
			инженер	9	
8	Расчет технологической части проекта	2	инженер	10	3
			инженер	9	
9	Технико-экономическое обоснование выбора оборудования	1	инженер	10	2
10	Разработка раздела БЖД	1	инженер	10	2
11	Оформление пояснительной записки	1	инженер	10	2
12	Проверка пояснительной записки и чертежей	1	научный руководитель	15	1
			инженер	10	

Занятости исполнителей	научный руководитель	15	3
	инженер	10	29
	инженер	9	5
Длительность работы, дней			29

6.1.1 Смета затрат на подготовку проекта

Суммарные затраты на проектирование определяем по выражению:

$$\sum I_{\text{проекта}} = I_{\text{з.пл}} + I_{\text{соц}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}},$$

где $I_{\text{з.пл}}$ - затраты на заработную плату;

$I_{\text{соц}}$ - затраты на социальные отчисления;

$I_{\text{мат}}$ - материальные затраты;

$I_{\text{ам}}$ - амортизационные затраты;

$I_{\text{пр}}$ - прочие затраты;

$I_{\text{накл}}$ - накладные расходы.

Затраты на заработную плату

Табл. 6.2 Единая тарифная сетка с учетом занимаемой должности

Должность	Оклад	Доплата	Коэффициент за отпуск	Районный коэффициент	Итоговая зарплата за месяц	Средняя зарплата за один день, руб.	Количество дней работы над проектом	ФЗП
Научный руководитель 12р	23300	2200	1,1	1,3	36179	1722,8	3	5 168,4
Инженер 10р	14500		1,1	1,3	20592	980,6	29	28 436,6
Инженер 9р	14500		1,1	1,3	20592	980,6	5	4 902,9
Итого					77363	3684,0	32	38 507,9

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + Д) \cdot k_2}{21} \cdot X \quad \text{или} \quad I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X$$

где: 3 – оклад;

Д – доплата за интенсивность труда

k_1 – коэффициент за отпуск (1,1);

k_2 – районный коэффициент (1,3);

21 – количество рабочих дней в месяце;

X – количество рабочих дней затраченных на проект (3 дня).

Зарплата.

Расчет для научного руководителя 15 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + Д) \cdot k_2}{21} \cdot X = \frac{(23300 \cdot 1.1 + 2200) \cdot 1.3}{21} \cdot 3 = 5168,4 \text{ (руб.)}$$

Расчет для инженера 9 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500 \cdot 1.1 \cdot 1.3)}{21} \cdot 5 = 4902,9 \text{ (руб.)}$$

Расчет для инженера 10 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500) \cdot 1.1 \cdot 1.3}{21} \cdot 29 = 28436,6 \text{ (руб.)}$$

Тогда

$$I_{з.пл. \Sigma} = \sum I_{з.пл.} = 5168,4 + 4902,9 + 28436,6 = 38507,9 \text{ (руб.)}$$

6.1.2 Отчисления на социальные нужды.

В статью растраты «отчисления на социальные нужды» закладывается обязательные отчисления по установленным законодательством общепризнанным меркам. Органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования, от элемента «издержки на плату труда». Размер отчислений на социальные нужды составляет 30% от ФЗП.

$$I_{\text{соц}} = 0,3 \cdot I_{\text{з.пл}\Sigma} = 0,3 \cdot 38507,9 = 11552,4 \text{ (руб)}$$

6.1.3 Материальные затраты на канцелярские товары.

Материальные издержки на канцелярские продукты примем в объеме 1200 руб. (в критериях расценок на канцелярские продукты в настоящее время).

$$I_{\text{мат}} = 1200 \text{ (руб)}$$

6.1.4 Амортизация вычислительной техники.

Главной размер работ по разработке проекта был исполнен на персональном компьютере начальной стоимостью 27,5 тысячи руб.

Произведём расчёт амортизации цены ПК

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_u}{T_{\text{кал}}} \cdot \Phi_{\text{кт}} \cdot H_{\text{ф}} = \frac{29}{365} \cdot 27500 \cdot \frac{1}{7} = 312,1 \text{ (руб)}$$

где T_u - число отработанных дней на персональном компьютере;

$T_{\text{кал}}$ - число календарных дней в году;

$\Phi_{\text{кт}}$ - начальная стоимость персональном компьютере;

$H_{\text{ф}} = \frac{1}{T_{\text{сл}}}$ - срок полной амортизации.

6.1.5 Прочие неучтенные затраты.

Остальные неучтенные прямые издержки включают в себя все затраты, связанные с налоговыми сборами (не предусмотренными в прошлых статьях), отчисления внебюджетные фонды, платежи по страхованию, плата услуг взаимосвязи, представительские затраты, издержки на ремонт и другое. Принимаем величина иных издержек как 10% от суммы затрат на материальные издержки, услуги сторонних организаций, амортизации оснащения, издержек на плату труда, отчисления на социальные нужды.

$$\begin{aligned} I_{\text{пр}} &= 0,1 \cdot (I_{\text{з.пл}} + I_{\text{соц}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}}) = \\ &= 0,1 \cdot (38507,9 + 11552,4 + 1200 + 312,1) = 5157,2 \text{ (руб)} \end{aligned}$$

6.1.6 Накладные расходы.

Накладные затраты составят 200% от ФЗП. Включают в себя издержки на хозяйственное обслуживание здания, снабжение нормальных условий труда, плату за энергоносители и остальные косвенные издержки. $I_{накл} = 2 \cdot I_{з.пл\Sigma} = 2 \cdot 38507.9 = 77015.7$ (руб)

6.1.7 Себестоимость проекта

$$\begin{aligned} \sum I_{проекта} &= I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам} + I_{пр} + I_{накл} = \\ &= 38507.9 + 11552.4 + 1200 + 312.1 + 5157.2 + 77015.7 = 133745.3 \text{ (руб)} \end{aligned}$$

Результаты расчетов сведем в табл. 7.4.

Табл. 6.3 Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	$I_{з.пл\Sigma}$	38507.9
2	Социальные отчисления	$I_{соц}$	11552.4
3	Материальные затраты	$I_{мат}$	1 200.0
4	Амортизационные отчисления	$I_{ам}$	312.1
5	Прочие издержки	$I_{пр}$	5157.2
6	Накладные расходы	$I_{накл}$	77015.7
7	Себестоимость проекта	$\sum I_{проекта}$	133745.3

6.2 Оценка технического уровня

Общей схемой количественного анализа конкурентоспособности, которая может использоваться на любом этапе существования изделий, является следующая:

6.2.1. Выбор базисного образца, аналогичного по назначению и условиям эксплуатации с расцениваемой продукцией.

6.2.2. Определение списка нормативных, технических и финансовых характеристик, подлежащих исследованию (представить в таблице).

6.2.3. Сравнение (по каждой из групп характеристик) имеющихся характеристик с соответствующими параметрами необходимости, важными для покупателя (клиенту). Инструментом сравнения считается отдельный показатель, представляющий собой отношение величины параметра осматриваемого продукта к величине данного же параметра, нужного клиенту.

6.2.4. Подсчет группового показателя на базе одиночных характеристик. Групповой показатель выражает отличие между анализируемыми продуктами по всем группам характеристик в целом.

Единичными и методологическими принципами при соблюдении данной схемы анализа числятся учет предельности отдельных элементов необходимости, с тем, чтобы при нахождении образца на предельном уровне необходимости не делался вывод о большей конкурентоспособности анализируемого продукта с более высочайшими, чем у образца аналогичными параметрами; необходимость придания количественной оценки тем характеристикам, которые не имеют природной физической меры (к образцу, удобность изделия), с введением экспертных способов; необходимость возведения взвешенной базы для технических характеристик на основе многосторонних рыночных исследований.

Хоть какое проектирование в идеале должно начинаться с выявления потребностей вероятных покупателей. После такового анализа делается вероятным определить единичный параметрический показатель. $q = \frac{p}{p_{100}} p$

где q - параметрический показатель;

P - величина параметра реального изделия;

P_{100} - величина параметра гипотетического изделия, удовлетворяющего потребность на 100%;

p - возможность достижения величины параметра; вводится для получения наиболее точного итога с учетом элемента случайности, что позволяет понизить риск воплощения плана.

Любому параметрическому показателю по отношению к продукту в целом (т.е. обобщенному удовлетворению необходимости) подходит некоторый вес d , различный для каждого показателя. Опосля вычисления вычисления всех единичных характеристик становится реальностью вычисление обобщенного (массового показателя), описывающего соотношение продукта необходимости в нем (нужный результат продукта) $Q = \sum_{i=1}^n q_i d_i$

где Q - групповой технический показатель (по техническим параметрам);
 q_i - единичный параметрический показатель по i -му параметру;

d_i - вес i -го параметра; n - число параметров, подлежащих рассмотрению.

Показатель конкурентоспособности нашего изделия по отношению к изделию другой фирмы k_w будет равен

$$k_{ТП} = \frac{Q_H}{Q_K}$$

где $k_{ТП}$ - показатель конкурентоспособности нового изделия по отношению к конкурирующему по техническим параметрам;

Q_H Q_K ~ соответствующие групповые технические показатели нового и конкурирующего изделия.

$$K_{ТП} = 0,866/0,856 = 1,012$$

Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества привести в таблице[18].

Табл. 6.4 Матрица предпочтений

№ п/п	Наименование	1	2	3	4	5	6	сумма	d_{ij}
1	Коэффициент полезного действия	1	0,5	1,5	0,5	1	1	4,5	0,153
2	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	1,5	1	1,5	1,5	0,5	1	6	0,203
3	Пусковой ток	0,5	0,5	1	0,5	1,5	1	4	0,136
4	Пусковой момент	1,5	0,5	1,5	1	1	1,5	5,5	0,186
5	Номинальный ток	1	1,5	0,5	1	1	1	5	0,169
6	Степен защиты	1	1	1	0,5	1	1	4,5	0,153

Табл. 6.5 Оценка технического уровня новшества

Характеристики	Вес показателей d_i	Новшество		Конкурент		Гипотетический образец	
		P_i	q_i	P_i	q_i	P_{100}	q_{100}
Коэффициент полезного действия, %	0,153	87,8	0,901	88,5	0,908	97,5	1
Коэффициент мощности $\cos\varphi$, %	0,203	87	0,916	85	0,895	95	1
Пусковой ток, А	0,136	0,15	0,75	0,13	0,650	0,2	1
Пусковой момент, H^*M	0,186	2,01	0,804	2,4	0,960	2,5	1
Номинальный ток, А	0,169	0,050	1	0,05	1	0,05	1
Степен защиты IP	0,153	44	0,647	44	0,647	68	1
Итого			0,866		0,856		1,00

Вывод: В результате по оценке конкурентоспособности новшества следовательно, что разработанный асинхронный двигатель никак не уступает товарам заменителям и коэффициент конкурентоспособности с учетом его

технического уровня, издержек удовлетворение необходимости в нем и конкурентных преимуществ при перемещении товара на рынке равен 1,012.

Заключение

В процессе выполнения проекта был разработан асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, предназначенный для привода насосных агрегатов мощностью $P_{2H} = 11$ кВт, частотой вращения $n = 1500$ об/мин, числом полюсов $2p = 4$, напряжением $U_n = 220$ В.

В электромагнитном расчете были выбраны основные размеры, определены параметры двигателя, масса активных материалов, потери и КПД, а также рассчитаны рабочие и пусковые характеристики, кратность пускового тока и максимального момента, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к двигателю.

Обмотка статора выбрана однослойной. Для обмотки статора применена изоляция класса F, которая допускает длительный нагрев обмотки статора до 155° С, так как режим работы для насосных агрегатов продолжительный (S1). Короткозамкнутая обмотка ротора – литая алюминиевая.

Механический расчет вала показал, что жесткость, прочность и критическая частота вращения вала удовлетворяют требуемым условиям. Суммарный прогиб вала составил 1,9917 – что менее 10% воздушного зазора, допустимого для нормальной работы асинхронного двигателя. Данный вал можно использовать для данного проектируемого двигателя.

Тепловой расчет показал, что у двигателя имеется температурный запас при нагреве обмотки статора.

В специальном разделе был произведен расчет параметров, потерь рабочих и пусковых характеристик при отклонении напряжения питающей сети от номинальных значений.

При выполнении технологической части выпускной квалификационной работы был разработан технологический процесс сборки асинхронного двигателя. Выбрано необходимое оборудование и оснастка. Определены нормы

времени и необходимое количество оборудования для выполнения требуемой программы выпуска 5500 шт./год.

В экономической части работы рассчитана себестоимость данного проекта и проведен анализ технического уровня проектируемого асинхронного двигателя.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе изготовления обмоток двигателя. Освещены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Проведен расчет искусственного освещения для участка изготовления обмоток.

В целом спроектированный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором удовлетворяет требованиям задания.

Приложение А
Расчет рабочих характеристик

Таблица А1 - Номинальные данные спроектированного двигателя:
 $P_{2н}=11$ кВт, $I_{н1}=19,9$ А, $\eta=0,878$, $U_{н1}=220$ В, $\cos\varphi=0,875$.

Расчётные формулы	Размерно сть	Скольжение s						
		0,001	0,005	0,01	0,020	0,025	S_n	0,045
$a' \cdot r'_2 / s'$	Ом	367,5	73,5	36,8	14,6	13,6	10,5	8,2
$R = a + a' \cdot r'_2 / s$	Ом	367,9	73,96	37,2	15,1	14,0	10,9	8,6
$X = b + b' \cdot r'_2 / s$	Ом	10,5	4,3	3,6	3,0	3,03	3,01	2,97
$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	368,1	74,1	37,3	15,4	14,4	11,3	9,1
$I''_2 = U_{\text{ном}} / Z$	А	0,59	2,96	5,88	15,26	16,3	19,33	24,08
$\cos \varphi'_2 = R / Z$	-	0,999	0,998	0,995	0,979	0,976	0,964	0,945
$\sin \varphi'_2 = X / Z$	-	0,028	0,058	0,095	0,2	0,214	0,27	0,32
$I_{1a} = I_{0a} + I''_2 \cdot \cos \varphi'_2$	А	1,01	3,38	6,27	14,33	15,3	19,05	23,19
$I_{1p} = I_{0p} + I''_2 \cdot \sin \varphi'_2$	А	5,39	5,55	5,94	8,23	8,64	10,5	13,2
$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	А	5,49	6,5	8,64	16,5	17,6	19,9	24,7
$I'_2 = c_1 \cdot I''_2$	А	0,61	3,05	6,04	14,6	15,6	19,9	24,8
$P_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_{1a} \cdot 10^{-3}$	кВт	0,668	2,23	4,14	9,5	10,1	12,5	15,3
$P_{\rho 1} = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_1 \cdot 10^{-3}$	Вт	45,57	63,9	112,8	413	467	715	1076
$P_{\rho 2} = 3 \cdot I_2^2 \cdot r'_2 \cdot 10^{-3}$	Вт	0,39	9,72	38,2	222,6	257	412	639
$P_{\text{доб}} = P_{\text{доб.н}} \cdot (I_1 / I_{1н})^2 \cdot 10^{-3}$	Вт	4,2	5,9	10,4	38,1	43,2	66,09	99
$\sum P = (P_{cm} + P_{\text{мех}} + P_{\rho 1} + P_{\rho 2} + P_{\text{доб}}) \cdot 10^{-3}$	кВт	0,378	0,408	0,490	1,002	1,09	1,52	2,14
$P_2 = (P_1 - \sum P) \cdot 10^{-3}$	кВт	0,29	1,82	3,65	8,46	9,02	11	13,2
$\eta = 1 - \sum P / P_1$	-	0,43	0,81	0,88	0,89	0,88	0,878	0,859
$\cos \varphi = I_{1a} / I_1$	-	0,18	0,51	0,73	0,867	0,87	0,875	0,868

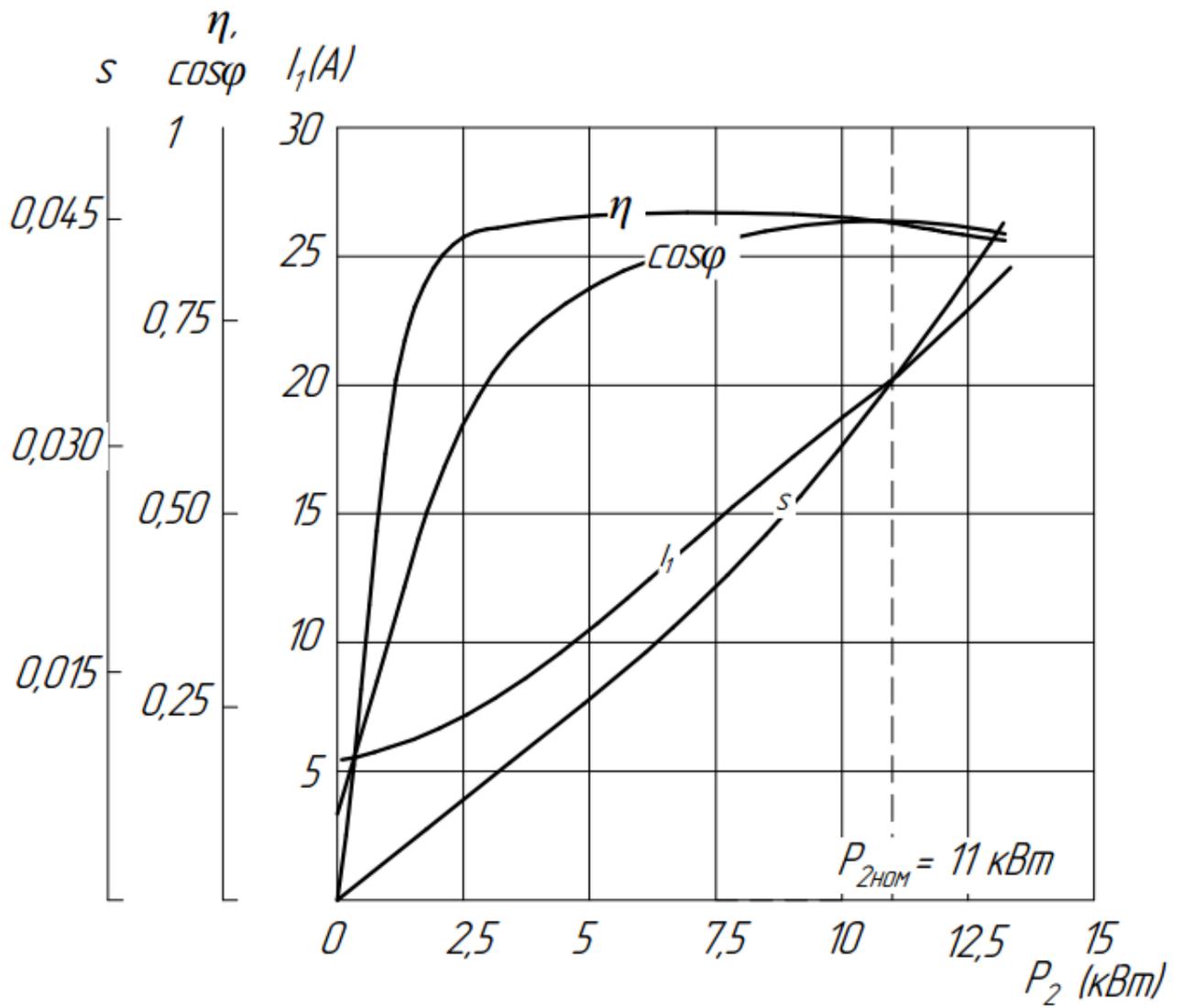


Рис. А1 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Приложение Б

Таблица Б1 – Расчет пусковых характеристик

Расчётные формулы	Размерность	Скольжение s					
		1	0,8	0,5	03	0,15	0,0001
$k_{нас}$	-	1,4	1,35	1,25	1,2	1,05	1
$F_{п.ср} = 0.7 \cdot \frac{I_1 \cdot k_{нас} \cdot U_{п.}}{a} \cdot \left(k'_{\beta} + k_{y1} \cdot K_{об1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \right)$	А	2866	2834	2727	2510	2235	2,09
$B_{\phi\delta} = \frac{F_{п.ср} \cdot 10^{-6}}{1.6 \cdot \delta \cdot C_N}$	ТЛ	8,29	8,19	7,26	6,4	5,73	0,006
$k_{\delta} = f(B_{\phi\delta})$	-	0,35	0,4	0,75	087	098	1
$c_{\beta 1} = (t_{z1} - b_{u1}) \cdot (1 - k_{\delta})$	мм	0,0062	0,0062	0,005	0,004	0,002	0.00004
$\lambda_{п1нас} = \lambda_{п1} - \Delta\lambda_{п1нас}$	-	0,83	0,97	1,13	1,297	1,327	1,379
$\lambda_{д1нас} = \lambda_{д1} \cdot k_{\delta}$	-	1,24	1,34	1,423	1,651	1.643	2.132
$x_{1нас} = x_1 \cdot \sum \lambda_{1нас} / \sum \lambda_1$	Ом	0.552	0.572	0.614	1,683	1,798	0.939
$c_{1пнас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12п}}$	-	1,01	1,0105	1,011	1,012	1,014	1,017
$c_{\beta 2} = (t_{z2} - b_{u2}) \cdot (1 - k_{\delta})$	Мм	0,011	0,011	0,011	0,01	0,002	0,00005
$\lambda_{п2\xiнас} = \lambda_{п2\xi} - \Delta\lambda_{п2\xiнас}$	-	0,762	0,812	0,958	1,289	1.364	1.427
$\lambda_{д2нас} = \lambda_{д2} \cdot k_{\delta}$	-	1,624	1,731	1,812	1.902	1.913	2.482
$x'_{2\xiнас} = x'_2 \cdot \sum \lambda_{2\xiнас} / \sum \lambda_2$	Ом	0.68	0.681	0.733	0.817	0.961	1.183
$R_{пнас} = r_1 + c_{1пнас} \cdot r'_{2\xi} / s$	Ом	0,893	0,951	1,05	2.54	4,324	5570
$X_{пнас} = x_{1нас} + c_{1пнас} \cdot x'_{2\xiнас}$	Ом	1.24	1.26	1.355	1.51	1.772	2.142
$I'_{2нас} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_{пнас}^2 + X_{пнас}^2}}$	А	143,4	138,6	123	100,4	80,25	3,54
$I_{1нас} = I'_{2нас} \cdot \frac{\sqrt{R_{пнас}^2 + (X_{пнас} + x_{12п})^2}}{c_{1пнас} \cdot x_{12п}}$	А	143,9	138,6	123,4	100,7	80,3	3,54
$I_{п*} = I_1 / I_{1ном}$	-	6,76	6,51	5,79	4,73	3,77	0,16
$M_{п*} = \left(\frac{I'_{2пнас}}{I'_{2ном}} \right)^2 \cdot K_R \cdot \frac{s_{ном}}{s}$	-	2,008	2,32	2,95	3,28	3,12	0,003

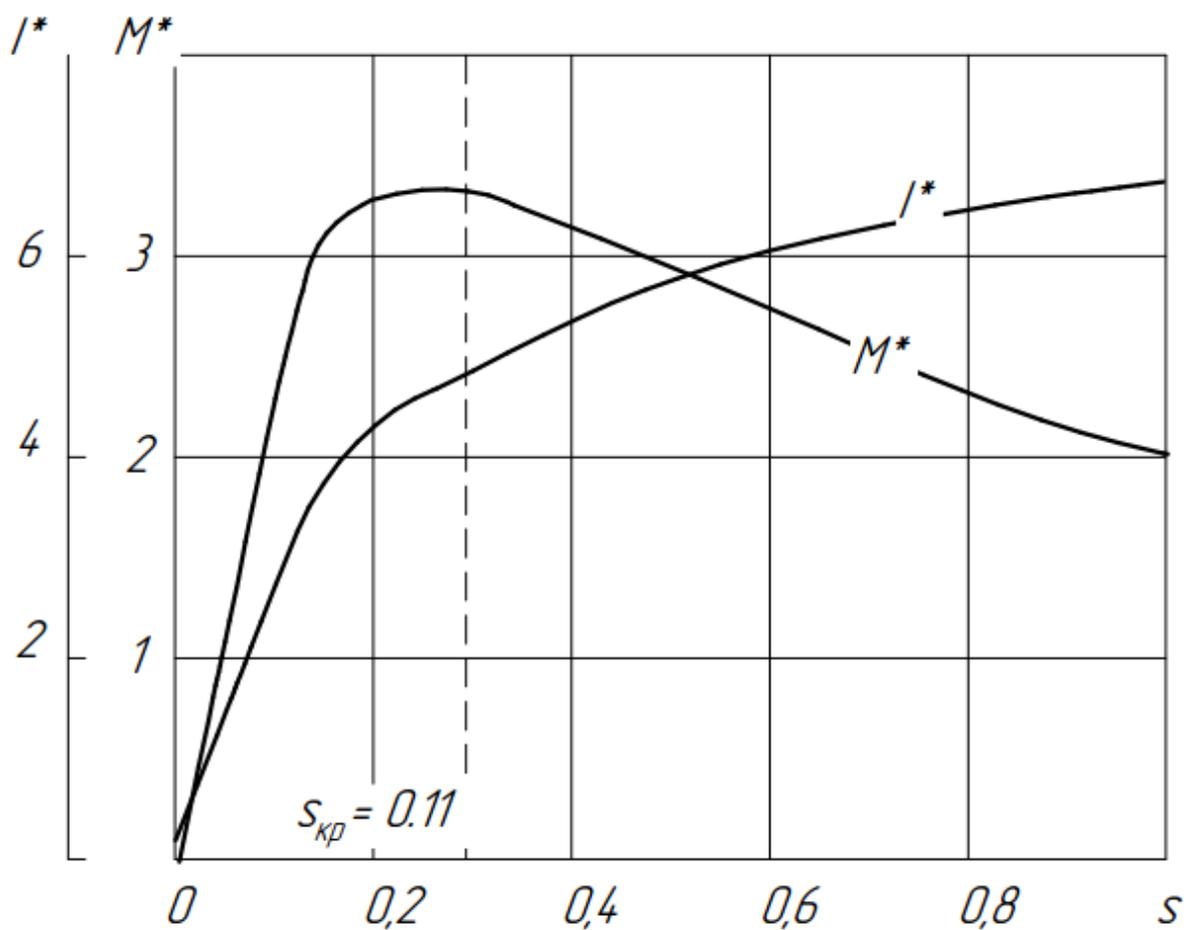


Рис. Б1 – Пусковых характеристики асинхронного двигателя

Приложение В
 Схема обмотки статора
 $Z_1=36, 2p=4, q=3, a=1.$

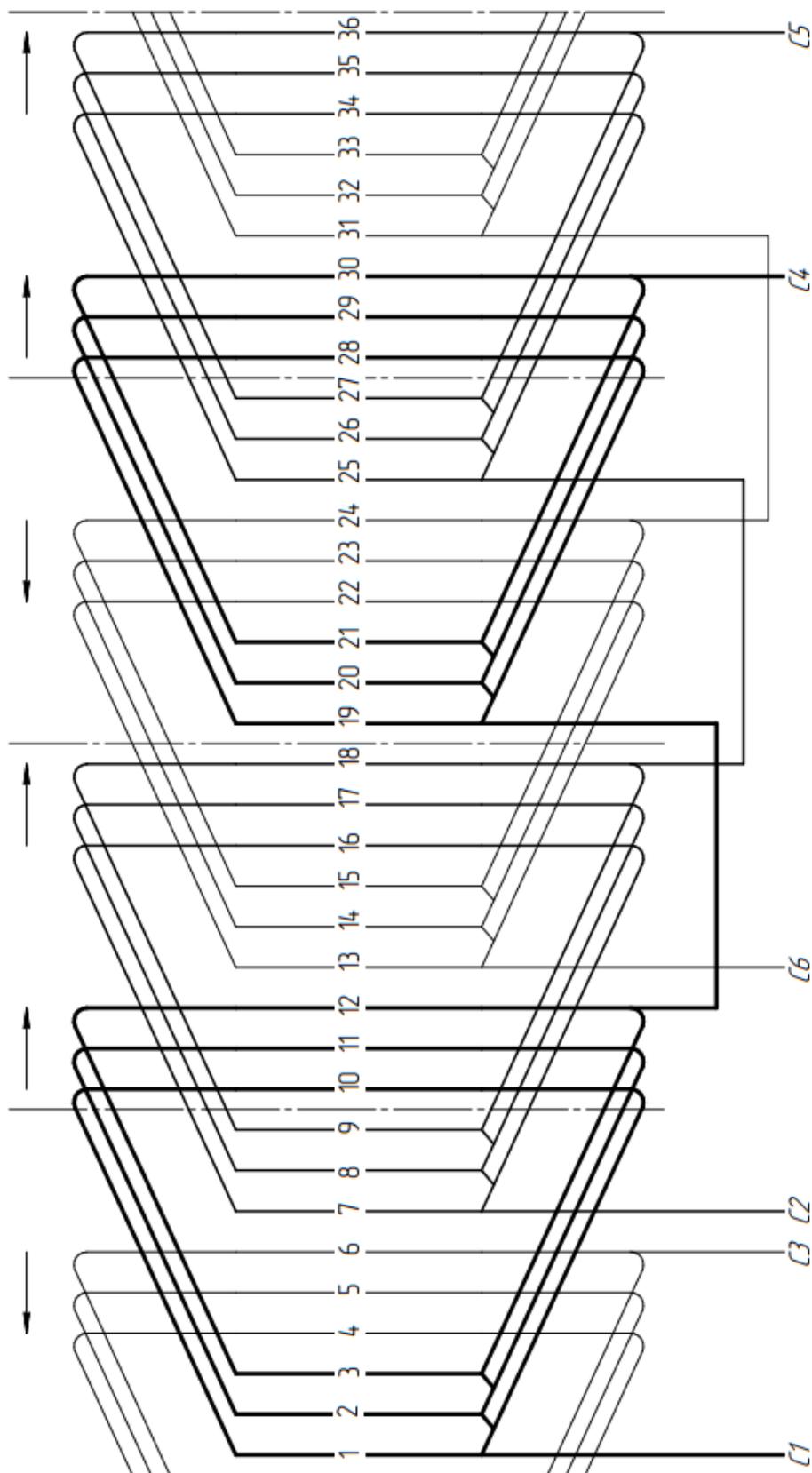


Рис. В1 – Развернутая схема обмоток статора

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

				1	1
--	--	--	--	---	---

		ТПУ ИнЭО	ФЮРА.525200.037		
Двигатель				П	

Приложение Г

Комплект документов на технологический процесс
сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором
для привода насосных агрегатов
ФЮРА.525200.037

Руководитель:
доцент, к.т.н

Баранов П.Р.

Исполнитель:

Туляганов С.И.

