

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

Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика электротехника
Кафедра ЭПЭО

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Энергоэффективный электропривод по схеме АВК шахтного вентилятора	
УДК 622.445-83	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Негодин Кирилл Николаевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра ЭПЭО

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Дементьев Ю.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2А	Негодину Кириллу Николаевичу

Тема работы:

Энергоэффективный электропривод по схеме асинхронного вентильного каскада шахтного вентилятора	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 966/с от 10.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Мощность исполнительного механизма $P_{им}=120$ кВт; Предел регулирования выходной мощности $\Delta P_{м}=40\%$; Угловая скорость вала исполнительного механизма $\omega=54$ рад/с; Момент инерции исполнительного механизма $J_{им}= 3.4$ (кг·м²); Момент трения исполнительного механизма $M_{тр}=80$ (Н·м).
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Расчет мощности двигателя и выбор его по каталогу; расчет и выбор элементов вентильного преобразователя; расчет и выбор согласующего трансформатора и дросселя в цепи выпрямленного тока; построение характеристик двигателя; естественные и искусственные характеристики двигателя; семейство механических характеристик АВК; переходные процессы в АВК; пуск; торможение; энергетические показатели электропривода.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Дашковский А.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента Трофимова М.Н.

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Негодин Кирилл Николаевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2А	Негодин Кирилл Николаевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Электропривод и автоматика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	1. Описание рабочего места на предмет: – описание места проведения работ по разделу; – проявлений факторов техносферной безопасности; – объекта воздействия на окружающую среду (экологическая безопасность); – места возникновения ЧС (в основном опасность пожара);
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	1. Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – выдержки из действующих нормативов на нормы с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) – описание технических систем, обеспечивающих требования нормативов 2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты) – термические опасности (источники, средства защиты) – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); 3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны; – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – либо, выбор наиболее типичной ЧС (пожаровзрыво-безопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения); – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия управления охраной труда, ООС, ЧС; – Перечень законодательных и нормативных документов в порядке их цитирования по пунктам раздела.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Негодин Кирилл Николаевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2А	Негодин Кирилл Николаевич

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электропривод и автоматика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 13% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	27,1 отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений. Оценки перспективности проекта по технологии QuaD.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки; Формирование бюджета затрат на научное исследование;
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсоэффективности проекта: -определение интегрального финансового показателя; -определение интегрального критерия ресурсоэффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Негодин Кирилл Николаевич		

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

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

Форма представления работы:

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2016
--	------------

Дата кон- троля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
08.02.2016	<i>Расчет и выбор двигателя</i>	
22.02.2016	<i>Расчет элементов АВК</i>	
07.03.2016	<i>Расчет статических и динамических характеристик</i>	
21.03.2016	<i>Расчет энергетических показателей</i>	
15.04.2016	<i>Выбор драйвера управления</i>	
19.05.2016	<i>Оформление результатов работы и выводов по работе. Формирование файла дипломной работы</i>	
20.05.2016	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	
23.05.2016	<i>Социальная ответственность</i>	

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.
Профессиональные компетенции	
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
P8	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P9	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 91 листа, 15 иллюстрации, 25 таблиц, в процессе работы использовалась информация 31 источник литературы.

В пояснительной записке используется следующий перечень ключевых слов: вентильный каскад, асинхронный двигатель, инвертор, статические механические и электромеханические характеристики, переходные процессы, электромагнитный момент, ток, энергетические показатели, коэффициент полезного действия.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы являются теоретические исследования и имитационное моделирование статических и динамических характеристик, переходных процессов асинхронно-вентильного каскада на базе асинхронного двигателя с фазным ротором с номинальной мощностью $P_n=160$ кВт.

Произведено описание функциональной и принципиальной схем, а также принципа работы электропривода. Приведены принципиальная схема и принцип действия АВК, расчет мощности двигателя и выбор его по каталогу, расчет и выбор элементов вентильного преобразователя, расчет роторного выпрямителя, расчет вентилей инвертора, расчет и выбор согласующего трансформатора и дросселя в цепи выпрямленного тока, построение характеристик двигателя, семейство механических характеристик АВК, переходные процессы в АВК, особенности переходных процессов АВК, пуск до рабочей скорости. Так же рассчитаны энергетические показатели: к.п.д. и коэффициент мощности вентильного каскада.

Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности, экологичности проекта, экономическая часть.

Оглавление

Реферат.....	6
Введение.....	12
Основная часть	13
1. Расчетная часть.....	19
1.1. Расчет мощности двигателя и выбор его по каталогу.....	19
1.2. Расчет и выбор элементов асинхронного вентильного каскада	20
1.3. Расчет роторного выпрямителя	20
1.4. Расчет вентилей инвертора	22
1.5. Расчет и выбор согласующего трансформатора и дросселя в цепи выпрямленного тока.....	22
1.6. Расчет сопротивления пускового резистора	24
2. Построение характеристик двигателя.....	25
2.1. Механические характеристики двигателя.....	25
2.2. Электромеханическая характеристика	27
2.3. Семейство характеристик АВК . Ошибка! Закладка не определена.	
3. Переходные процессы электропривода Ошибка! Закладка не определена.	
4. Энергетические показатели вентильного каскада	28
4.1. Коэффициент полезного действия вентильного каскада.....	28
4.2. Коэффициент мощности вентильного каскада	31
5. Разработка функциональной схемы системы регулируемого электропривода.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Разработка силовой схемы регулируемого электропривода Ошибка! Закладка не определена.	

5.2. Разработка системы импульсно-фазового управления (сифу) и выбор драйверов управления тиристорами. **Ошибка!** **Закладка** **не определена.**

5.2.1. Выбор датчика измерения тока **Ошибка!** **Закладка** **не определена.**

5.2.2 Выбор датчика измерения скорости **Ошибка!** **Закладка** **не определена.**

5.2.3 Разработка задатчика интенсивности **Ошибка!** **Закладка** **не определена.**

6.1. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению 35

6.2. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению 36

6.3. Охрана окружающей среды 38

6.4. Защита в чрезвычайных ситуациях..... 39

6.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 40

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 42

7.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 43

7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования 43

7.1.2. Технология QuaD 44

7.1.3. SWOT-анализ..... 47

7.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований 54

7.3. Планирование научно-исследовательских работ	54
7.3.1. Структура работ в рамках научного исследования	54
7.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ	56
7.3.3. Разработка графика проведения научного исследования	57
7.3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	60
7.4. Определение ресурсоэффективности проекта	67
Заключение	69
Список литературы	71

Введение

В последние годы в различных областях техники отмечается значительный рост мощностей и скоростей промышленных установок, многие из которых требуют плавного и экономичного регулирования скорости, для таких механизмов в большинстве случаев целесообразно использование электрического привода, которым обладает легкостью и гибкостью управления и позволяет без особых затрат осуществлять автоматизацию производственного цикла [1].

Особый интерес для упомянутых приводов представляют простые и надежные двигатели переменного тока. Разрешению проблемы создания рациональных управляемых электроприводов переменного тока в ближайшие годы будет способствовать бурное развитие производства полупроводниковых приборов.

Известны различные способы регулирования скорости вращения двигателей переменного тока:

1. Диссипативное регулирование.
2. Переключение числа пар полюсов обмотки статора.
3. Изменение частоты подводимого к статору напряжения.
4. Каскадное включение асинхронного двигателя с другими машинами или вентильными преобразователями.

Регулирование скорости вращения асинхронного двигателя переключением числа пар полюсов весьма экономично, однако такое регулирование является ступенчатым и не может обеспечить непрерывного управления. Управление с помощью контакторов дает грубое регулирование системы.

Так как большая часть потребляемой электроэнергии приходится на электрические приводы, то повышение энергоэффективности является актуальной проблемой.

Основная часть

Для промышленных механизмов таких как вентиляторы, насосы и компрессоры, возможной модернизацией является асинхронный вентильный каскад, так как эти механизмы потребляют значительную часть электроэнергии [2].

Разработка наиболее выгодной системы электропривода для механизма, работающего в конкретных условиях, является актуальной и важной технической задачей. Если решать эту задачу, не привязываясь к условиям работы механизма, то она становится беспредметной.

Очевидным достоинством данной системы является прямая зависимость объёма и стоимости оборудования, требующегося для разрабатываемого привода, от необходимого диапазона регулирования. Поэтому в первую очередь целесообразно применение каскадов для привода механизмов, требуемый диапазон регулирования которых не превышает 2:1.

Применение каскадных систем на промышленных установках подтвердило работоспособность, простоту наладки и эксплуатации.

АВК имеет следующие достоинства, типичные для этой системы:

- Электропривод включается в промышленную сеть без промежуточных преобразователей энергии, преобразователи в роторной цепи служат только для регулирования скорости.
- Более предпочтительный в использовании асинхронный двигатель, по сравнению с двигателем постоянного тока.
- Плавность регулирования скорости и момента, не требующая большого количества силовой аппаратуры.
- Хорошие динамические свойства электропривода с данной системой.
- Более высокий коэффициент полезного действия относительно ДПТ, что влияет на энергоэффективность системы в целом.

Вместе с тем рассматриваемая система электропривода не свободна от недостатков:

- высокая стоимость преобразователей, ведущая к удорожанию системы;
- пониженный коэффициент мощности;
- при работе на максимальных скоростях снижается коэффициент полезного действия;
- перегрузочная способность двигателя снижается.

Вентильные каскады.

Для АВК характерно наличие в роторной цепи преобразователя частоты, выполненного на полупроводниковых вентилях, в котором может присутствовать звено постоянного тока. Это является первым признаком классификации вентильных каскадов. Принципиальная схема АВК с промежуточной цепью постоянного тока представлена на рисунке 1.1. Данное схемное решение имеет наибольшее распространение и, по-видимому, будет оставаться наиболее перспективным и в будущем. Основное достоинство этой схемы — простой вентильный преобразователь, состоящий из выпрямителя и инвертора. Для управления этими вентилями применяются обычные системы, рассчитанные на частоту 50 Гц [8].

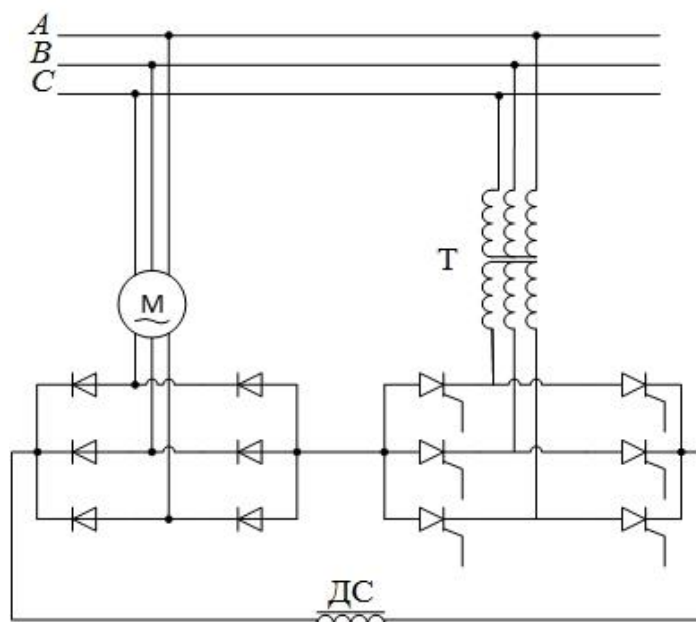


Рисунок 1.1 - Принципиальная схема асинхронного вентильного каскада с промежуточной цепью постоянного тока.

Применение выпрямителя для роторной цепи дает определенные преимущества:

- при заданном диапазоне регулирования и вентиляторном характере нагрузки мощность инвертора может быть уменьшена;
- также может быть осуществлен режим рекуперативного торможения.

Для управления тиристорами управляющие импульсы должны подаваться с частотой роторного напряжения f_2 . Это обуславливает применение более сложной и специализированной системы управления [2].

Приведенные примеры применения асинхронного вентильного каскада свидетельствуют о стремлении использовать эту систему в различных областях техники для механизмов, предъявляющих разнообразные требования к электроприводу. Нужно отметить, что первые каскадные электроприводы, нашедшие применение в промышленности, следует рассматривать как опытно-промышленные установки. Их разработка, исследование и эксплуатация способствовали накоплению опыта по применению вентильного каскада для привода различных механизмов. В целом опыт промышленного применения вентильного каскада нужно расценивать как положительный. Использование вентильного каскада на всех выполненных установках подтвердило работоспособность, относительную простоту наладки и эксплуатации, высокий к. п. д., хорошие регулировочные качества этой системы привода. Успешное проведение опытно-промышленных разработок позволяет ставить вопрос о широком промышленном применении систем вентильного каскада в тех областях техники, где эти приводы имеют лучшие технические и экономические показатели по сравнению с другими системами регулируемого электропривода.

Описание технологического процесса.

Вентиляторные установки на горных предприятиях служат для проветривания горных выработок и поддержания в них комфортных и безопасных условий труда путем создания атмосферных условий, при которых состав, ско-

рость перемещения и температура воздуха соответствовали бы требованиям отраслевых правил безопасности [14].

Атмосферный воздух, проходя по горным выработкам, изменяет свой состав. Содержание кислорода в нем уменьшается, а углекислого газа увеличивается. Кроме того, в него попадают такие газы, как азот, оксид углерода, сероводород, сернистый газ, оксиды азота, метан, а также пыль, пары воды и другие вещества, выделяющиеся из горных пород и образующиеся при производстве горных работ.

С учетом отмеченного выше, процесс проветривания горных выработок должен обеспечить в рудничном воздухе необходимое количество кислорода, а также разбавить выделяющиеся вредные газы и вещества до допустимых концентраций, что и определяет в основном объем воздуха, который необходим для проветривания. Этот процесс осуществляется с помощью специальных вентиляторов, предназначенных для горной промышленности.

По назначению вентиляторные установки подразделяются на главные, вспомогательные и местного проветривания [15].

Все выпускающиеся для горной отрасли вентиляторы относятся по конструкции к так называемым «лопастным нагнетателям». В вентиляторах этого типа энергия вращающегося ротора преобразовывается в потенциальную и кинетическую, в свою очередь сообщаемые перемещаемому воздуху.

Устройство вентиляторной установки зависит от ее назначения, расположения, типа применяемых вентиляторов и требований отраслевых Правил безопасности и Правил технической эксплуатации, предъявляемых к установкам различных типов.

Основным способом регулирования рабочего режима центробежных вентиляторов главного проветривания является изменение угла установки лопаток входного направляющего аппарата (НА). На отдельных моделях центробежных вентиляторов предусмотрено регулирование режима изменением частоты вращения приводного электродвигателя.

Таким образом, в общем случае в состав вентиляторной установки главного проветривания входят: два вентиляторных агрегата, состоящих из вентиляторов с электродвигателями и аппаратуры управления, автоматизации и контроля; вспомогательное оборудование для переключения и реверсирования воздушного потока; система вентиляционных каналов, обеспечивающих прямую и реверсивную работу каждого из вентиляторов; глушители шума.

Вспомогательное оборудование включает в себя: ляды, с помощью которых перекрываются вентиляционные каналы; механизмы для открывания и закрывания ляд; устройства для уплотнения ляд; люки для доступа в каналы. Ляды выполняются по типу падающих или самоходных вертикальных дверей. В качестве привода ляд применяются лебедки с системой канатов (падающие ляды), а также цепной привод с червячным редуктором и винтовой с мотор-редуктором для самоходных вертикальных ляд.

Компоновка вентиляторной установки определяется типом вентилятора: осевой или центробежный, с одно- или двухсторонним входом, реверсивный или нет.

Конструкция и основные части вентиляторной установки представлены на рисунке 1.2.

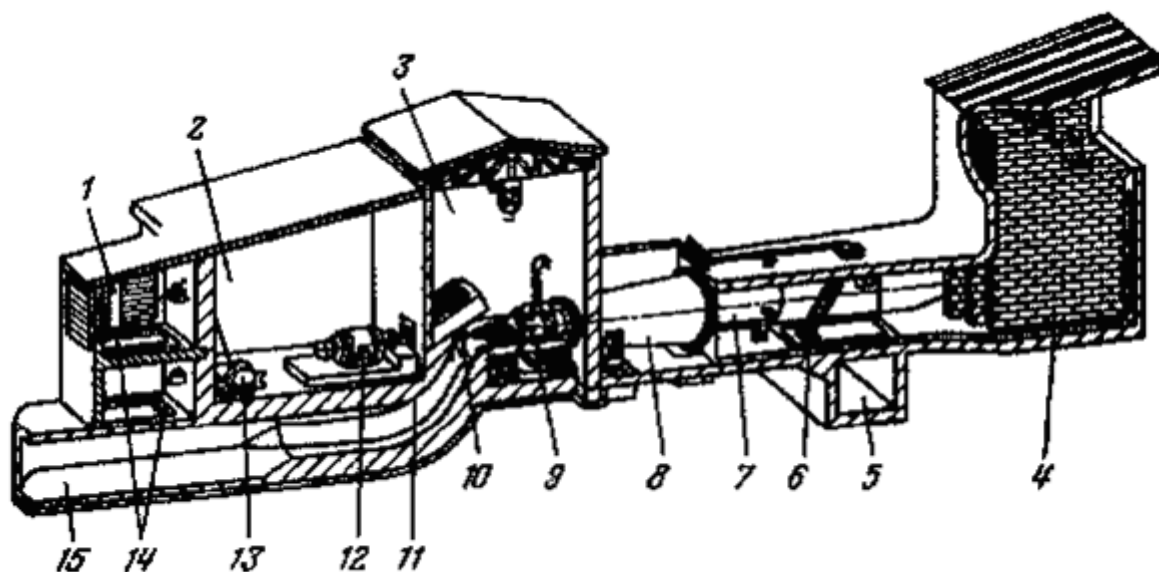


Рисунок 1.2 – Шахтная вентиляторная установка в разрезе

На рисунке 1.2 обозначены: 1 – воздухоподающее отделение; 2 – отделение электродвигателей; 3 – вентиляторное отделение с подъемным краном; 4 – глушитель шума; 5 – обводной канал; 6,14 – ляды; 7 – выходной канал; 8 – конический кольцевой диффузор; 9 – вентилятор; 10 – трансмиссионный вал; 11 – колено; 12 – двигатель вентилятора; 13 – лебедка для ляд; 15 – подводящий канал.

В данной выпускной квалификационной работе спроектирован электропривод по схеме асинхронного вентиляного каскада шахтного вентилятора для главной вентиляторной установки.

1. Расчетная часть

1.1. Расчет мощности двигателя и выбор его по каталогу

Вопросы выбора асинхронных двигателей являются актуальными для регулируемых электроприводов. Выбор электродвигателя напрямую связан с энергопотреблением, стоимостью пускорегулирующей аппаратуры, затратами на ремонт и обслуживание.

Статическая мощность вентилятора:

$$P_c = M_{тр} \cdot \omega_{им} + P_{им} = 80 \cdot 54 + 120000 = 124.3 \text{ кВт.}$$

По каталогу выбирается двигатель **МТН 713-10** с техническими параметрами для сети напряжением 380 В и частотой 50 Гц, представленными в таблице 1.1.

Таблица 1.1 Технические параметры двигателя **МТН 713-10**

Тип двигателя	Мощность P_n , кВт	Частота вращения, $n_{ном}$, об/мин	Номинальный ток I_n , А	Ток ротора, А
МТН 713-10	160	573	341	272
Напряжение между кольцами, В	Кратность макс. Момент M_{max}/M_n , о.е.	Коэф. полезного действия, %	Коэф. мощности, о.е.	Момент инерции ротора, кг·м ²
405	2,8	91,5	0,78	15

Параметры схемы замещения асинхронного двигателя рассчитаны по методике, представленной в [3] и имеют следующие значения:

Активное сопротивление обмотки статора $R_1 = 0.102 \text{ Ом}$;

Реактивное сопротивление обмотки статора $X_1 = 0.14 \text{ Ом}$;

Активное сопротивление обмотки ротора, приведённое к обмотке статора $R_2' = 0.099 \text{ Ом}$;

Реактивное сопротивление обмотки ротора, приведённое к обмотке статора $X_2' = 0.188 \text{ Ом}$;

Сопротивление намагничивающей цепи $X_m = 6.229 \text{ Ом}$.

1.2. Расчет и выбор элементов асинхронного вентильного каскада

Для двигателя, включенного по схеме вентильного каскада, учитываются четыре условия: длительная мощность асинхронного двигателя уменьшается примерно на 7%; перегрузочная способность двигателя падает примерно на 17%; минимальное скольжение при номинальном моменте будет в 2 раза выше номинального скольжения АД. Диапазон регулирования скорости АД определяется пределом регулирования выходной мощности ΔP_m , поэтому минимальная регулируемая мощность определяется следующим выражением:

$$P_{min} = P_{им} \cdot (1 - \Delta P_m) = 120 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0.4) = 72 \text{ кВт}.$$

Так как мощность АД пропорциональная скорости в кубе, то минимальная регулируемая угловая скорость ω_{min} определяется из пропорции:

$$\frac{P_{им}}{P_{min}} = \frac{\omega_{им}^3}{\omega_{min}^3}.$$
$$\omega_{min} = \sqrt[3]{\frac{P_{min} \cdot \omega_{им}^3}{P_{им}}} = \sqrt[3]{\frac{72 \cdot 10^3 \cdot 54^3}{120 \cdot 10^3}} = 45.54 \text{ рад/с}.$$

Максимальное скольжение при этом принимает значение:

$$S_{max} = \frac{\omega_0 - \omega_{min}}{\omega_0} = \frac{62.832 - 45.54}{62.832} = 0.275 \text{ о.е.}$$

Минимальное скольжение, с учетом $\omega_{max} = \omega_{им}$ равно:

$$S_{min} = \frac{\omega_0 - \omega_{им}}{\omega_0} = \frac{62.832 - 54}{62.832} = 0.141 \text{ о.е.}$$

1.3. Расчет роторного выпрямителя

Вентили роторного неуправляемого выпрямителя выбираются по значению выпрямленного тока ротора I_{dmax} , соответствующего максимальному значению момента на валу двигателя.

$$I_{d\max} = 1.22 \cdot m_k \cdot I_{2H} = 1.22 \cdot 2 \cdot 272 = 663.68 \text{ A.}$$

Схема соединения вентиля роторной группы всегда принимается мостовой. Вентили выбираются по среднему току через вентиль и по максимальному обратному напряжению.

Ток, протекающий через диод:

$$I_B = \frac{I_{d\max}}{3 \cdot 0.9 \cdot k_q \cdot k_B \cdot k_K \cdot k_{\Pi}} = \frac{663.68}{3 \cdot 0.9 \cdot 0.92 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 1} = 366.505 \text{ A.},$$

где $k_q = 0.92$ – коэффициент, учитывающий снижение допустимого тока через вентиль при работе с низкой частотой (для каскада принимают снижение 2%, чему соответствует частота тока 1Гц);

$k_B = 0.9$ – коэффициент, учитывающий снижение допустимого тока при скорости движения охлаждающего воздуха меньше 15 м/с (в принятых конструкциях преобразовательных устройств скорость при принудительном охлаждении лежит в пределах 10 м/с);

$k_K = 0.9$ – конструктивный коэффициент, учитывающий различные температурные условия работы вентиля;

$k_{\Pi} = 1$ – коэффициент, учитывающий снижение допустимого тока через вентиль при их параллельном соединении, т.к. современные тиристоры имеют большую мощность, то исчезла необходимость параллельного включения тиристоров.

Максимальное обратное напряжение на диоде выпрямителя определяется по формуле:

$$U_{в.обр} = 1.414 \cdot U_{2H} \cdot S_{\max} = 1.414 \cdot 405 \cdot 0.275 = 157.524 \text{ В.}$$

Исходя из рассчитанных значений тока и напряжения на вентиле, выбираем полупроводниковый диод **Д171-400-2**, с максимальным током 400 А, и обратным напряжением 200 В.

1.4. Расчет вентилей инвертора

Выбор силовых тиристоров осуществляется по току и напряжению. Нагрузочная способность тиристоров определяется максимально допустимой температурой полупроводниковой структуры, которая не должна быть превышена в любых режимах работы: длительная работа с номинальным током двигателя; рабочая перегрузка в течение заданного времени; аварийные режимы в течении времени срабатывания защиты. Нагрев тиристора зависит от величины и формы тока, а также от условий охлаждения. Всё это должно быть учтено при правильном выборе вентилей по току. Для повышения надёжности работы преобразователя рекомендуется устанавливать вентили на типовых охладителях и применять естественное воздушное охлаждение, так как при этом будет определённый запас по мощности тиристоров.

Тиристоры инверторной группы выбираются исходя из выпрямленного тока I_{dmax} и напряжения вторичной обмотки согласующего трансформатора. Ток. Протекающий через тиристор:

$$I_{ви} = \frac{I_{dmax}}{3 \cdot 0.9} = 245.807 \text{ А.}$$

Обратное напряжение на тиристоре:

$$U_{ви} = \sqrt{2} \cdot E_{2т} = \sqrt{2} \cdot 115.333 \text{ В,}$$

где $E_{2т}$ – вторичное напряжение согласующего трансформатора.

Исходя из рассчитанных значений тока и напряжение на вентиле, выбираем полупроводниковый тиристор **T143-400-2**, с максимальным током 400 А, и обратным напряжением 200 В.

1.5. Расчет и выбор согласующего трансформатора и дросселя в цепи выпрямленного тока

Регулирование АД происходит в верхнем диапазоне скоростей, при этом напряжение на роторе значительно меньше напряжения сети, поэтому для улучшения энергетических показателей необходим согласующий трансформатор.

Во избежание прорыва инвертора минимальный угол управления тиристорами инвертора принимается $\beta_{min} = 15^\circ$.

Линейное напряжение на вторичных обмотках трансформатора:

$$E_{2T} = \frac{U_{2H} \cdot S_{max}}{\cos \beta} = \frac{405 \cdot 0.275}{\cos(15^\circ)} = 115.333 \text{ В.}$$

Величина выпрямленного тока I_d соответствующая длительной нагрузке двигателя:

$$I_d = 1.22 \cdot I_{2H} = 1.22 \cdot 272 = 331.84 \text{ А.}$$

Ток вторичной обмотки трансформатора:

$$I_{2T} = k_{и} \cdot I_d = 0.815 \cdot 331.84 = 270 \text{ А,}$$

где $k_{и}$ – коэффициент схемы инвертора (для 3-фазной мостовой).

Полная мощность трансформатора:

$$S_{тр} = m_T \cdot \frac{E_{2T} \cdot I_{2T}}{\sqrt{3}} = 3 \cdot \frac{115.333 \cdot 331.84}{\sqrt{3}} = 54 \text{ кВА,}$$

где m_T – число фаз вторичной обмотки трансформатора.

Обмоточные параметры трансформатора:

Относительное значение напряжения КЗ $e_k = 4.2\%$;

Линейное напряжение первичной обмотки трансформатора $E_{1T} = 380 \text{ В.}$

По приведённым выше данным можно посчитать напряжение короткого замыкания трансформатора:

$$E_{кз} = e_k \cdot E_{1T} = 0.042 \cdot 380 = 15.96 \text{ В.}$$

Отсюда коэффициент трансформации:

$$k_{тр} = \frac{E_{1T}}{E_{2T}} = \frac{380}{115.333} = 3.295 \text{ о.е.}$$

Ток первичной обмотки:

$$I_{1T} = \frac{I_{2T}}{k_{тр}} = \frac{270}{3.295} = 82.084 \text{ А.}$$

Потери короткого замыкания:

$$\Delta P_{\text{кз}} = E_{\text{кз}} \cdot I_{1\text{т}} = 15.96 \cdot 82.084 = 1.31 \text{ кВт.}$$

Активное сопротивление трансформатора:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{3 \cdot I_{2\text{т}}^2} = \frac{1.31}{3 \cdot 82.084^2} = 5.97 \text{ мОм.}$$

Полное сопротивление трансформатора:

$$Z_{\text{тр}} = \frac{E_{2\text{т}} \cdot e_{\text{к}}}{3 \cdot I_{2\text{т}}} = \frac{115.333 \cdot 0.042}{3 \cdot 82.084} = 18 \text{ мОм.}$$

Реактивное сопротивление трансформатора:

$$X_{\text{тр}} = \sqrt{Z_{\text{тр}}^2 - R_{\text{тр}}^2} = \sqrt{0.018^2 - 0.00597^2} = 17 \text{ мОм.}$$

Выбирается сухой трансформатор **ТС3-63/10** со следующими параметрами.

Индуктивность сглаживающего дросселя выбирается из условия

$$L_{\text{др}} = (3..5) \cdot \frac{X_{\text{р}}}{2 \cdot \pi \cdot f}:$$

$$L_{\text{др1}} = 3 \cdot \frac{X_{\text{р}}}{2 \cdot \pi \cdot f} = 3 \cdot \frac{0.345}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 3.297 \text{ мГн;}$$

$$L_{\text{др2}} = 5 \cdot \frac{X_{\text{р}}}{2 \cdot \pi \cdot f} = 5 \cdot \frac{0.345}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 5.495 \text{ мГн;}$$

Выбирается сглаживающий дроссель **ФРОС-1000/0.5 УЗ(ТЗ)** с параметрами:

Индуктивность дросселя: $L_{\text{др}} = 5 \text{ мГн;}$

Активное сопротивление дросселя $R_{\text{др}} = 4.7 \text{ мОм;}$

Реактивное сопротивление дросселя:

$$X_{\text{др}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\text{др}} = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0.005 = 1.571 \text{ Ом.}$$

1.6. Расчет сопротивления пускового резистора

Расчет сопротивления производится графическим методом непосредственно по механическим характеристикам в следующем пункте.

2. Построение характеристик двигателя

2.1. Механические характеристики двигателя

Критическое скольжение определяется по формуле:

$$S_{кр} = \frac{R_2' + R_{доб}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{0.099 + 0}{\sqrt{0.102^2 + (0.14 + 0.188)^2}} = 0.289 \text{ о.е.},$$

где $R_{доб}=0$ Ом для естественной характеристики.

Критический момент вычисляется по выражению:

$$\begin{aligned} M_{кр} &= \frac{3 \cdot U_n^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 380^2}{2 \cdot 62.827 \cdot \left[0.102 + \sqrt{0.102^2 + (0.14 + 0.188)^2} \right]} = 7.739 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Выражение для момента асинхронного двигателя:

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot (1 + a)}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S} + 2 \cdot a},$$

$$\text{где } a = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{0.102}{\sqrt{0.102^2 + (0.14 + 0.188)^2}} = 0.296 \text{ о.е.}$$

Выражение для момента исполнительного механизма (вентилятора):

$$M_c = M_{тр} + (M_{им} - M_{тр}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{им}} \right)^2$$

По данным выражениям рассчитаны точки характеристик, значения которых занесены в таблицу 2.1. По данным таблицы построены характеристики, представленные на рисунке 2.2.

Таблица 2.1.

S , о.е.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
M , Н·м	0	5220	7345	7735	7435	6918	6370	5854	5391	4981	4621
M_c , Н·м	2984	2432	1938	1503	1125	806	545	341	196	109	80

Для уменьшение пускового момента пуск двигателя производится с включением добавочных резисторов. С помощью ПО MathCad вычислено минимальное значение добавочного сопротивления для пуска до минимальной скорости исполнительного механизма, листинг представлен на рисунке 2.1.

$$x := 0.8 \quad \text{Given} \quad M_{dv}(w_{min}, x) = M_c(w_{min})$$

$$r3_{min} := \text{Find}(x) = 1.019$$

Рисунок 2.1 – листинг для расчета минимального добавочного сопротивления

Из-за дискретности элементов ящика сопротивлений $R_{эл}=0.055$ Ом величина $R_{доб.3}$ принимается равной 1.045 Ом. $R_{доб.1}=2.86$ Ом, $R_{доб.2}=1.375$ Ом. Значения скорости и момента для искусственных характеристик занесены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

S , о.е.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
M_1 , Н·м	0	227	453	676	896	1112	1324	1532	1737	1938	2134
M_2 , Н·м	0	467	924	1365	1791	2199	2591	2966	3323	3664	3986

$M_3,$ Н·м	0	587	1157	1700	2218	2709	3172	3608	4016	4397	4751
---------------	---	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

По точкам из таблицы 2.2 построены искусственные характеристики, представленные на рисунке 2.2.

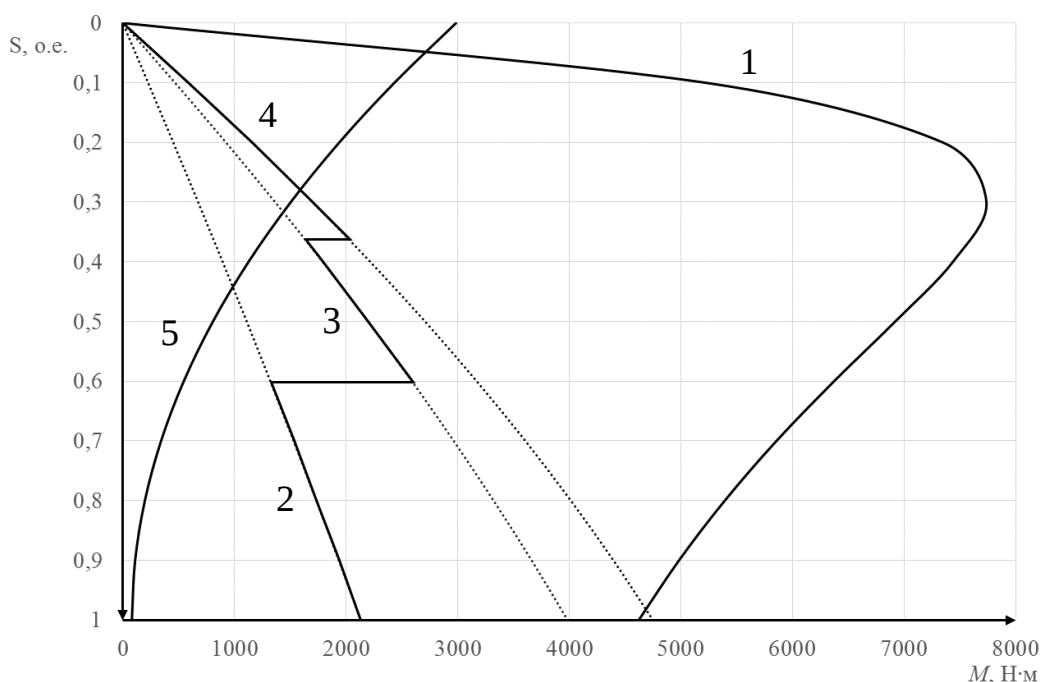


Рисунок 2.2 – семейство механических характеристик: 1 – естественная; 2,3,4 – искусственные соответственно с резисторами $R_{доб.1}$, $R_{доб.2}$, $R_{доб.3}$; 5 – вентиляционная

Из-за дискретности ящика сопротивлений пуск осуществляется не до $\omega_{min}=45.54$ рад/с, а до чуть меньшей скорости $\omega_p=45.32$ рад/с.

2.2. Электромеханическая характеристика

Для построения электромеханической характеристики используется формула для тока ротора схемы замещения:

$$I_2 = \frac{U_n}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}}.$$

Значения тока для построения электромеханической характеристики сведены в таблицу 2.3, а сама характеристика представлена на рисунке 2.3.

Таблица 2.3

S , о.е.	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
I_2 , А	2	330	555	699	791	853	897	929	953	972	987

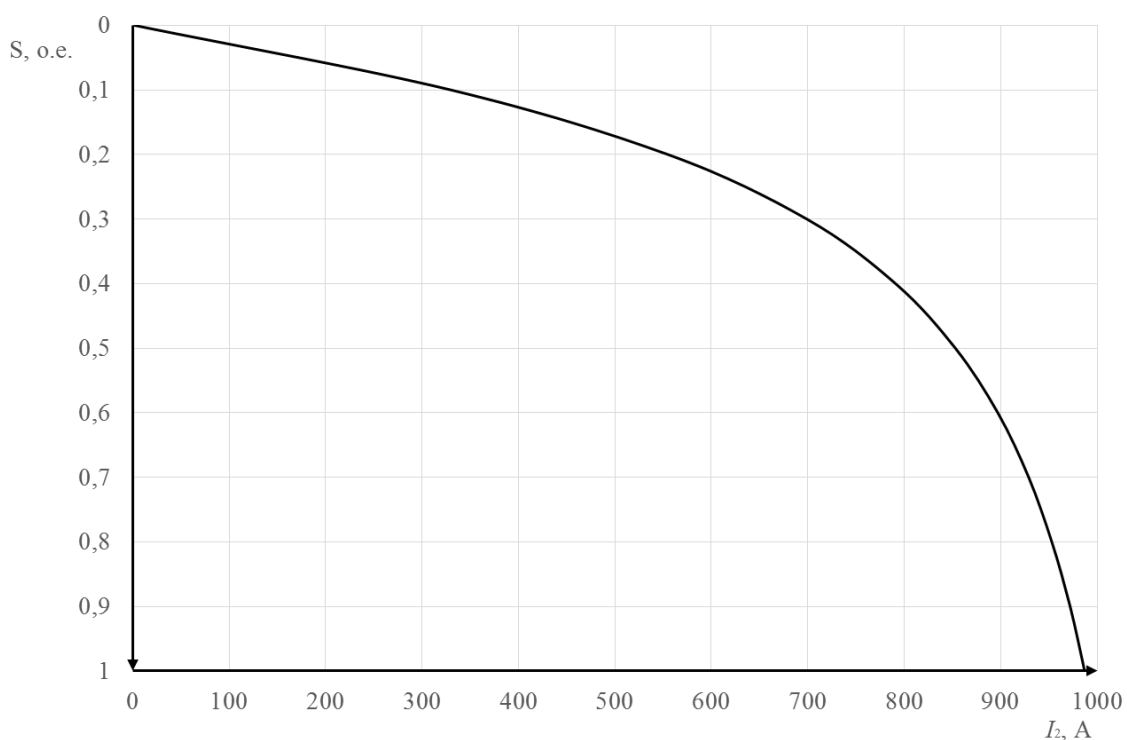


Рисунок 2.3 – электромеханическая характеристика двигателя

4. Энергетические показатели вентильного каскада

4.1. Коэффициент полезного действия вентильного каскада

Одной из основных идей АВК является полезное использование энергии скольжения АД, что определяет сохранение достаточно высокого КПД привода при изменении скорости вращения. Под КПД АВК в двигательном режиме понимают отношение полезной мощности к затраченной:

$$\eta_k = \frac{P_{пол}}{P_{затр}} = \frac{P_{пол}}{P_{потр} - P_{рек}}$$

Рекуперация энергии происходит при работе в двигательном режиме только до определенной скорости вращения. При этой скорости энергия скольжения $P_{эм} \cdot s$ уменьшается настолько, что она достаточна лишь для покрытия потерь в роторе, вентилях и трансформаторе.

Наиболее простым и достаточно точным методом определения КПД АВК является метод определения потерь. Сущность метода состоит в определении потерь в элементах привода и подсчете полных потерь во всей системе ΔP .

$$\text{Для двигательного режима: } \eta_k = \frac{P_{пол}}{P_{пол} + \Delta P}$$

Потери в электроприводе делятся на постоянные κ и переменные ν :

$$\Delta P = \kappa_k + \nu_k$$

Под постоянными понимаются не зависящие от тока нагрузки потери в меди статора от намагничивающего тока I_0 , потери в стали статора, в стали ротора, механические (потери на трение) и дополнительные (потери от вихревых токов). С изменением скорости двигателя, при управлении в цепи ротора, постоянные потери остаются практически неизменными, так как потери в статоре не изменяются, а потери в стали ротора и механические изменяются в противоположных направлениях.

Под переменными понимаются потери, пропорциональные току нагрузки:

$$\nu = 3I_1^2 \cdot r_1 + 3I_2'^2 \cdot (r_2 + R_{ад})$$

Номинальные переменные потери в асинхронном двигателе определяются исходя из потерь в роторе, пропорциональным номинальному скольжению:

$$\nu_n = M_n \cdot \omega_0 \cdot s_n \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) = 2667 \cdot 62.83 \cdot 0.045 \cdot \left(1 + \frac{0.102}{0.099}\right) = 15.3 \text{ кВт}$$

Постоянные потери в двигателе:

$$k_{\text{ад.н}} = P_{\text{н}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} - M_{\text{н}} \cdot \omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R'_2}\right) =$$

$$= 160 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 - 0.91}{0.91} - 2667 \cdot 62.83 \cdot 0.045 \cdot \left(1 + \frac{0.102}{0.099}\right) = 2.47 \text{ кВт}$$

Потери в схеме каскада также разделены на постоянные и переменные. Постоянные потери в схеме каскада немного больше, чем при обычной схеме включения АД. Увеличение потерь примерно на 5% объясняется увеличением потерь в стали, за счет высших гармоник в токах ротора и статора. Кроме того, в АВК имеют место постоянные потери холостого хода трансформатора инвертора.

Постоянные потери в асинхронном вентильном каскаде:

$$k_{\text{к}} = 1.05 \cdot k_{\text{ад.н}} + \Delta P_{\text{хх.тр}} = 1.05 \cdot 2.47 + 1.4 = 3.99 \text{ кВт}$$

где $\Delta P_{\text{хх.тр}} = 1.4 \text{ кВт}$ - потери холостого хода трансформатора.

Переменные потери в АВК зависят от выпрямленного тока ротора:

$$\nu_{\text{к}} = I_d^2 \cdot R'_{\text{экв}} + I_d \cdot \Delta U$$

Ток I_d определяется величиной момента нагрузки:

$$I_d = \frac{\sqrt{2} \cdot E_p}{2X_p} - \sqrt{\frac{E_p^2}{2X_p^2} - \frac{\sqrt{2} \cdot \omega_0 \cdot M}{k_1 \cdot X_p}}$$

ΔU - потери в вентилях трансформаторной группы.

Порядок расчета КПД привода $\eta_{\text{к}}$ следующий:

- определяем значение полезной мощности каскада: $P_{\text{пол}} = \frac{9.55 \cdot M \cdot \omega}{9.81}$

где M и ω определяются графически, как координаты точек пересечения характеристики момента сопротивления $M_c = f(\omega)$ с естественной и искусственной механической характеристикой $M = f(\omega)$ для угла управления β ;

- по известному значению момента нагрузки определяем величину выпрямленного тока ротора по выражению;

- рассчитываем переменные потери в АВК по выражению;

- определяем полные потери АВК: $\Delta P = \kappa_{\text{к}} + \nu_{\text{к}}$;

- определяем КПД каскада: $\eta_k = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{пол}} + \Delta P}$.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 4.1, по которым строится зависимость КПД привода от скорости двигателя $\eta_k = f(\omega)$ (рис. 4.1).

Таблица 4.1

ω , рад/с	M , Н·м	$P_{\text{пол}}$, кВт	I_d , А	v_k , кВт	ΔP , кВт	η_k
60	2725	154,5	614	15,80	19,79	0,89
55	2302	126	593	14,73	18,72	0,87
50	1917	95,5	569	13,57	17,56	0,84
45	1568	70,2	542	12,31	16,30	0,81
40	1255	50	511	10,94	14,93	0,77

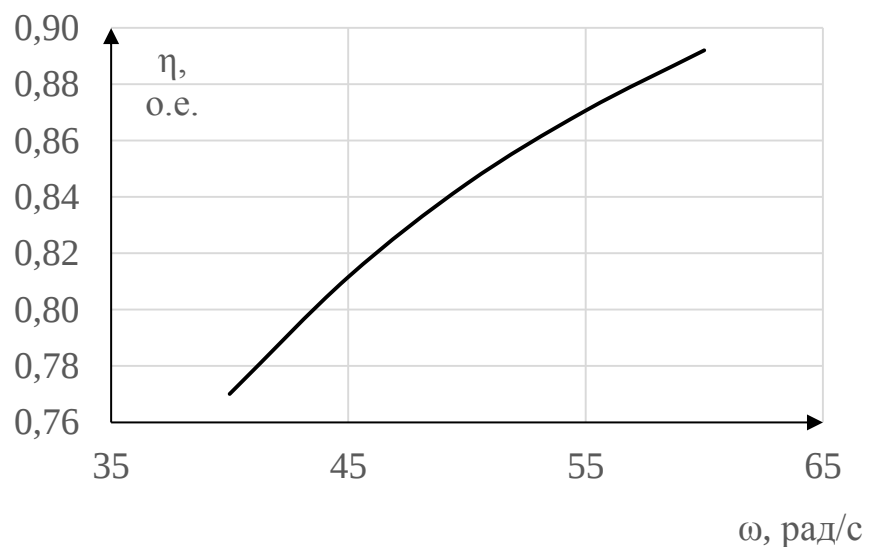


Рис. 4.1 Зависимость КПД привода от скорости $\eta_k = f(\omega)$

4.2. Коэффициент мощности вентильного каскада

Схема вентильного каскада ухудшает коэффициент мощности АВК. Снижение $\cos\varphi$ происходит по двум причинам. Первой из них является увеличение потребления (циркуляции) реактивной мощности. Это вызвано тем, что реактивная мощность потребляется не только двигателем, но и инвертором, в то же время активные составляющие мощности двигателя и инвертора вычитаются (для двига-

тельного режима ниже синхронной скорости). Вторая причина связана с появлением в рассматриваемой системе мощности искажения, обусловленной наличием высших гармоник в кривых тока двигателя и трансформатора.

Активная и реактивная мощности вентильного каскада:

$$P_k = P_{дв} - P_{тр} \text{ и } Q_k = Q_{дв} + Q_{тр}$$

где $P_{дв}$, $Q_{дв}$ - активная и реактивная мощности, потребляемые АД;

$P_{тр}$, $Q_{тр}$ - активная и реактивная мощности, потребляемые инвертором;

$$\text{Коэффициент мощности АВК: } \cos \varphi_k = \nu \cdot \frac{P_{дв} - P_{тр}}{\sqrt{(P_{дв} - P_{тр})^2 + (Q_{дв} + Q_{тр})^2}}$$

где $\nu=0,995$ - коэффициент искажения мощности.

Расчет коэффициента мощности вентильного каскада производится следующим образом:

$$\text{определяем значение } \cos \varphi_{\partial\partial} = \frac{0,815 \cdot I_d}{\sqrt{2} \cdot E_p} \cdot \sqrt{\frac{2E_p^2 - \sqrt{2} \cdot X_2 \cdot E_p \cdot I_d}{(0,815I_d)^2 + I_0^2 \cdot k_r^2}};$$

определяем активную мощность, потребляемую со стороны статора двигателя:

$$P_{\partial\partial} = M \cdot \omega_0 + \Delta P_{м.ст} + \Delta P_{ст.ст} = M \cdot \omega_0 + 3 \cdot \sqrt{I_0^2 + \frac{(0,815I_d)^2}{k_r^2}} \cdot r_1 + 0,5 \cdot k_{ад.н}$$

$$\text{где } \Delta P_{м.ст} = 3I_1^2 \cdot R_1 \text{ - потери в меди статора, } I_1 = \sqrt{I_0^2 + \frac{(0,815I_d)^2}{k_r^2}}$$

$\Delta P_{ст.ст}$ - потери в стали статора.

$$\text{определяем активную мощность трансформатора: } P_{тр} = P_{\partial\partial} - \frac{M \cdot \omega}{\eta_k}$$

где η_k - КПД каскада для соответствующих значений М и ω (табл. 7);

полная мощность трансформатора:

$$S_{тр} = m_T \cdot E_{2T} \cdot I_d \cdot k_{iT}$$

где $m_T=3$ - число фаз трансформатора;

$k_{IT}=0,815$ - коэффициент, зависящий от схемы соединения трансформатора.

определяем реактивную мощность трансформатора:

$$Q_{тр} = \sqrt{S_{тр}^2 - P_{тр}^2}$$

определяем коэффициент мощности АВК:

$$\cos \varphi_k = V \cdot \frac{P_{дв} - P_{тр}}{\sqrt{(P_{дв} - P_{тр})^2 + (Q_{дв} + Q_{тр})^2}}$$

Результаты расчетов сводятся в табл. 8, по которым строится зависимость $\cos \varphi$ привода от скорости двигателя $\cos \varphi_k = f(\omega)$ (рисунок 4.2).

Низкий коэффициент мощности АВК является основным недостатком данной схемы привода. Для установок большой мощности применяют статические конденсаторы для компенсации реактивной мощности каскада.

Мощность требуемой конденсаторной батареи определяется по выражению:

$$Q_{комп} = Q_k - Q'_k$$

где $Q'_k = P_k \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{норм}}$ - реактивная мощность, соответствующая требуемому (нормативному) коэффициенту мощности $\arccos(0,95)$.

Коэффициент мощности с учетом компенсирующего устройства:

$$\cos \varphi_{комп} = V \cdot \frac{P_{дв} - P_{тр}}{\sqrt{(P_{дв} - P_{тр})^2 + (Q_{дв} + Q_{тр} - Q_{комп})^2}}$$

Расчетные значения $\cos \varphi_{комп}$ также заносим в таблицу 4.2. Строим в одних осях с характеристикой $\cos \varphi_k = f(\omega)$ зависимость $\cos \varphi_{комп} = f(\omega)$ (рисунок 4.2).

Таблица 4.2

ω , рад/с	M , Н·м	I_d , А	$\cos\varphi_k$	$\cos\varphi_{\text{КОМП}}$
60	2725	614	0,497	0,93
55	2302	593	0,451	0,97
50	1917	569	0,413	0,93
45	1568	542	0,385	0,67
40	1255	511	0,349	0,57

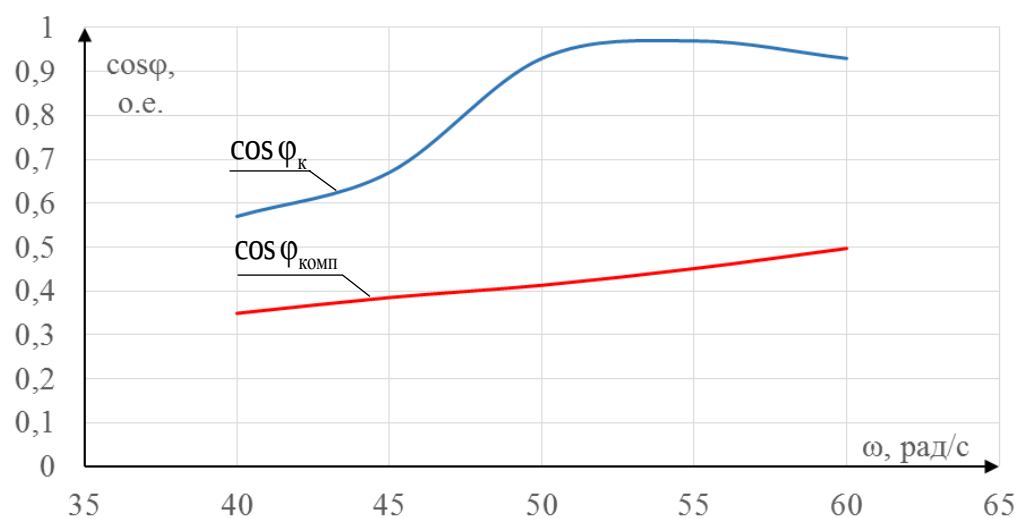


Рисунок 4.2 Зависимости коэффициента мощности

Из анализа полученных графиков видно, что коэффициент мощности каскада при компенсирующей батарее значительно выше, что повышает энергоэффективность разрабатываемого электропривода.

6. Социальная ответственность

В данном разделе рассматриваются безопасность и экологичность лаборатории по проектированию и эксплуатации асинхронного электропривода по схеме АВК. Здесь будет рассматриваться обеспечение необходимых условий труда в лаборатории (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросы экологической безопасности.

Безопасность включает в себя влияние опасных и вредных факторов, их анализ и меры их профилактики.

6.1. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

В практике эксплуатации электроустановок возможны случаи, когда отдельные части электроустановки, изолированные от токоведущих частей, могут оказаться под напряжением вследствие пробоя изоляции или других неисправностей.

К таким частям относятся: каркас щита управления, металлический корпус электродвигателя, оболочки кабелей и проводов, металлические корпуса рубильников, выключателей и т.д. Для предотвращения поражения электрическим током выполняют защитное заземление. Это преднамеренное соединение с землей металлических частей оборудования, которые могут оказаться под напряжением.

Составной частью техники безопасности является пожарная безопасность. В целях предупреждения возникновения пожара проводятся следующие мероприятия:

- помещения постоянно содержаться в чистоте и порядке;
- курить разрешается только в специально отведенных местах, где имеются урны и табличка “Место для курения”;

- проходы, выходы, лестницы должны постоянно содержаться в хорошем состоянии, не загромождаться и иметь свободный проход для эвакуации людей и для эвакуации оборудования лаборатории;
- спецодежда сотрудников и лаборантов хранится в специально предназначенном для нее месте;
- все помещения и склады предприятия обеспечены средствами пожаротушения в соответствии с нормами, работа в помещениях с легко воспламеняющимися и горючими веществами без наличия приточно-вытяжной вентиляции воспрещается.

В помещениях запрещается хранить тряпки, полотенца, одежду, смоченные в легковоспламеняющихся жидкостях; запрещается курить, разбрасывать обтирочный материал, загрязнять обтирочный материал, загрязнять столы, шкафы, оставлять без присмотра действующие аппараты, измерительные приборы, горящие горелки, включенные электроприборы и т.д.

6.2. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Решающим фактором для оценки проектируемой системы асинхронно-вентильного каскада является степень безопасности труда и меры по обеспечению безопасных условий труда. Это организационные и технические мероприятия, основным содержанием которых является профилактика травматизма, мероприятия производственной санитарии, основное содержание которой – обеспечение санитарно-гигиенических условий труда, мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Искусственное освещение устраивается во всех помещениях производственных зданий в соответствии с санитарными нормами проектирования промышленных предприятий. Основные требования, предъявляемые к искусственному освещению, заключается в том, чтобы с его помощью создать наиболее благоприятные условия для работы зрительного аппарата человека.

Большую опасность представляют электроустановки и наличие вредных примесей в помещении, где находится электроустановка. В помещении не должны применяться ядовитые вещества.

В целях профилактики профессиональных заболеваний среди научных сотрудников нужно соблюдать следующие правила:

- Освещенность рабочего места соответствует санитарным нормам и при комбинированном освещении создается освещенность не менее 150 люкс;
- Рабочее место, на котором производится пайка рабочих плат, должно находиться в отдельном месте и быть оборудовано вытяжным вентиляционным устройством, обеспечивающим скорость движения воздуха на рабочем месте 0,3 м/с, но так как пайка элементов производится в небольшом количестве, то достаточно естественной вентиляции и помещение может быть не оборудовано вытяжным устройством;
- Вибрации и шумы должны быть строго допустимыми по санитарным нормам
- В помещении должна поддерживаться нормальная температура: в зимнее время 17-20° С и в летнее время 19-23°С, что соответствует санитарным нормам.

С целью обеспечения нормальных и безопасных условий труда большое значение имеет соблюдение правил по технике безопасности и норм производственной санитарии.

При монтаже и эксплуатации промышленной установки асинхронно-вентильного каскада возможно поражение электрическим током в следующих случаях:

- при случайном прикосновении к токоведущим частям асинхронно-вентильного каскада;
- ошибочная подача напряжения;
- пробой изоляции;
- неумелое пользование измерительными приборами;

- при работе с ручным электроинструментом;
- при производстве пайки под напряжением.

Чтобы предотвратить возможные случаи травматизма необходимо выполнить и хорошо знать определенные правила.

Перед началом работы необходимо проверить исправность оборудования и измерительных приборов. Если для работы нужен прибор, который незнаком, то предварительно нужно ознакомиться с инструкцией по эксплуатации.

На рабочем месте должен быть порядок. Обязательно нужно проверить подключение приборов к защитному заземлению. Когда прекращаются работы, хотя бы временно, следует отключать питание схем и паяльника. Необходимо постоянно следить за исправностью и наличием изоляции на используемых элементах (бокорезы, пассатижи, пинцет) и приспособлениях. Категорически запрещается производить пайку и монтаж схемы под напряжением.

По окончании работы необходимо навести порядок на рабочем месте. Все измерительные приборы и оборудование должны быть отключены от схемы и установлены в отведенных для них места. Необходимо также отключать питание схемы и паяльника.

6.3. Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды является одним из самых важных факторов человеческой деятельности. При работе с программным обеспечением, в частности, проверке режимов работы электропривода, можно внести значительный вклад в охрану окружающей среды. При проверке работы электропривода в статическом и динамическом режимах можно увидеть график потребляемой системой мощности. И разработчик уже на начальном этапе проектирования может значительно сократить потребление мощности электроприводом. А это, как следствие ведет к экономии электроэнергии и делает эксплуатацию электропривода более дешёвой.

Учитывая, что на современных промышленных предприятиях более 80% потребляемой энергии приходится на долю электроприводов, используя современные

методы расчёта можно существенно снизить потребляемую предприятием мощность и, как следствие, привести к экономии природных ресурсов, используемых для выработки электроэнергии. К ним относят: нефть, газ, каменный уголь. Понятно, что это невозобновимые ресурсы. Приводят следующие сроки обеспеченности человечества этими природными ресурсами: нефть 30 лет, уголь 500 лет, газ 1000 лет. Переход на новую технологию производства, позволяющую возможно более полно и комплексно использовать первичное сырьё и экономить электроэнергию выступает как одно из ведущих направлений технического процесса.

На начальном этапе разработки уже возможно значительное уменьшение вибрационных и шумовых эффектов работы электропривода. При применении в разрабатываемом электроприводе достижений научных разработок, современной элементной базы возможны значительные снижения габаритов, массы, стоимости электропривода. Это в конечном итоге приводит к значительной экономии материалов, природных ресурсов, благоприятно сказывается на здоровье персонала, обслуживающего электропривод.

Наша система асинхронного вентильного каскада работает на электроэнергии, и, следовательно, не загрязняет окружающую среду вредными выбросами.

6.4. Защита в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятным чрезвычайными ситуациями при проектировании и эксплуатации асинхронного электропривода являются пожар или взрыв на рабочем месте [9,10,11]. Потенциальное возникновение пожара связано с накоплением токоведущей пыли внутри, и как следствие, возможно короткое замыкание и быстрое горение пыли, что и приведет к пожару. Также наличие нагреваемых элементов в ходе работы установки, в симбиозе с плохой теплоотдачей и открытой установкой, что необходимо при проведении ряда опытов, может привести к воспламенению материалов вблизи с установкой. Наличие конденсаторов в установке и вблизи нее и воздействие высоких температур на них, может привести к взрывоопасной ситуации на рабочем месте.

Во всех случаях возникновения пожара в помещении нужно немедленно вызвать пожарную команду, а до ее прибытия надо:

1. Отключить питающие напряжения.
2. Выключить вентиляцию.
3. Использовать для тушения пожара все имеющиеся первичные средства пожаротушения (огнетушители, песок и т.д.)
4. Произвести эвакуацию людей и оборудования в безопасное место, согласно плану эвакуации.

Внутренние пожарные краны устанавливаются только в отапливаемых помещениях на высоте 1,35 м от пола. Число кранов определено из расчета взаимного перекрытия струй из пожарных рукавов длиной 10 метров.

Возникновение других видов ЧС маловероятно, соответственно рассмотрению не подлежат.

6.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

Основными целями отдела охраны труда являются:

- создание безопасных условий труда и сохранение жизни и здоровья работников Компании;
- обеспечение надежности работы опасных производственных объектов;
- снижение риска аварий на опасных производственных объектах.

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

- идентификации опасностей;
- оценки и управления производственными рисками;

- проведения консультаций с работниками, их представителями и вовлечения их в систему управления охраной труда и промышленной безопасности.

Перечень нормативных документов:

- ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ.
- ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ.
- ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ.
- ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ.
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.
- ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ.
- СНиП П-12-77.
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.
- СНиП 2.04. 05-91.
- ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ.
- ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ.
- ППБ 01-03.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

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

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

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

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

7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

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

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

А также следует выделить сегменты рынка:

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

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Карта сегментирования рынка разработок для ЭП

	Электропривода постоянного тока по системе ТП-Д	Электропривода переменного тока по системе ПЧ- АД	Электропривода переменного тока по системе АВК
Проектирование и производство			
Установка и пуско- наладка			
Обслуживание и ремонт			
Фирма А		Фирма Б	

Результаты сегментирования:

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

7.1.2. Технология QuaD

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

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

1) *Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:*

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

2) *Показатели оценки качества разработки:*

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;

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

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

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (табл. 7.2).

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

Таблица 7.2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	95	100	0,95	6,65
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,12	87	100	0,87	10,44
3. Помехоустойчивость	0,03	90	100	0,9	2,7
4. Энергоэкономичность	0,11	90	100	0,9	9,9
5. Надежность	0,06	97	100	0,97	5,82
6. Уровень шума	0,03	80	100	0,8	2,4
7. Безопасность	0,01	80	100	0,8	2,4

Продолжение таблицы 7.2.

8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	75	100	0,75	1,5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	85	100	0,85	3,4
10. Простота эксплуатации	0,04	98	100	0,98	3,92
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	96	100	0,96	4,8
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	100	100	1	6
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	90	100	0,9	3,6
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	70	100	0,7	2,8
3. Цена	0,1	65	100	0,65	6,5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	95	100	0,95	6,65
5. Послепродажное обслуживание	0,03	90	100	0,9	2,7
6. Финансирование научной разработки	0,05	78	100	0,78	3,9
7. Срок выхода на рынок	0,03	71	100	0,71	2,13
8. Наличие сертификации разработки	0,04	80	100	0,8	3,2
Итого	1				91,41

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{ср} = \sum B_i \cdot B_i = 0,07 \cdot 95 + 0,12 \cdot 87 + \dots + 0,04 \cdot 80 = 91,41,$$

где $П_{ср}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение $П_{ср}$ получилось равным 91,41, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

7.1.3. SWOT-анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4. **Угроза** представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограни-

чение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представляем в табличной форме (табл. 7.3).

Таблица 7.3. Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4.Повышение производительности труда. С5. Квалифициро-	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большой срок выхода на рынок Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения
--	---	--

	ванный персонал. С6. Высокий срок эксплуатации. С7. Надежность данной системы по сравнению с другими. С8. Высокое качество продукции. С9. Универсальность схемы управления.	
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на...		

яющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.		
---	--	--

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

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

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

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученная интерактивная матрицы проекта представлена в табл. 7.4.

Таблица 7.4. Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта										
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	B1	0	+	0	0	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	B3	+	-	+	+	-	+	+	0	+
	B4	+	-	-	0	+	+	+	+	+
	B5	+	0	+	+	+	+	+	+	+

Результаты анализа таблицы:

B2B3B4C1C6C7C9

B1C2C5C7C8C9

B4C1C5C6C7C8C9

B5C1C3C4C5C6C7C8C9

Продолжение таблицы 7.4

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

Результаты анализа таблицы:

B5Сл1Сл3

Продолжение таблицы 7.4

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

Результаты анализа таблицы:

У1С5

У3С1С3С4С6

У2С9

У5С5

Продолжение таблицы 7.4

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

Результаты анализа таблицы:

У1Сл1

У2Сл3

У3Сл1Сл2Сл3

У4У5Сл1Сл3

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (табл. 7.5).

Таблица 7.5. Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4.Повышение производительности труда. С5. Квалифицированный персонал. ...	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большой срок выхода на рынок Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли	В2В3В4С1С6С7С9 В1С2С5С7С8С9 В4С1С5С6С7С8С9 В5С1С3С4С5С6С7С8С9	В5Сл1Сл3
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.	У1С5 У3С1С3С4С6	У1Сл1 У2Сл3

У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.	У2С9 У5С5	У3Сл1Сл2Сл3 У4У5Сл1Сл3
--	--------------	---------------------------

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

7.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

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

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

7.3. Планирование научно-исследовательских работ

7.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

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

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в табл. 7.6.

Таблица 7.6. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер
	7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер
	8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Инженер
	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Инженер
	10	Оптимизация САР электропривода	Инженер
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка техни-	13	Технико-экономические расчеты	Инженер

ческой документации и проектирование	14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

7.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

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

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

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

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

7.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

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

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

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

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

Все рассчитанные значения сводим в таблицу (табл. 7.8).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

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

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

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

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

Таблица 7.8. Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длитель- ность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утвержде- ние технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение мате- риалов по теме		5		8		7		7		11
Описание объекта авто- матизации (модерниза- ции)		3		4		4		4		7
Календарное планирова- ние работ по теме	3		5		4		4		7	
Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП		4		9		6		6		10
Расчет параметров двига- теля и модели		4		6		5		5		8
Выбор способа регулиро- вания скорости		2		4		8		8		12
Расчет предельных ха-		2		4		3		3		5

характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»										
Разработка математической модели системы АУ ЭП	3		6		5		5		8	
Оптимизация САР электропривода		4		8		6		6		10
Разработка программы имитационного моделирования		5		8		7		7		11
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		8
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		8
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		4

На основе табл. 7.8 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 7.9. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ ра бо т	Вид работ	Испол- нители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фев.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение техни- ческого задания	Руково- дитель	4														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11														
3	Описание объекта автоматизации (мо- дернизации)	Инженер	7														
4	Календарное плани- рование работ по теме	Руково- дитель	7														

[illegible]

7.3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В

процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

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

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

7.3.4.1. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 7.10.

Таблица 7.10. Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	2351	9404

2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11	1523	16753
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7	1523	10661
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7	2351	16457
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10	1523	15230
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8	1523	12184
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12	1523	18276
8	Расчет предельных характ. системы «преобр.– электродвиг.»	Инженер	5	1523	7615
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	3	2351	7053
10	Оптимизация САР электропривода	Инженер	10	1523	15230
11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер	11	1523	16753
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2	2351	4702
13	Технико-экономические расчеты	Инженер	8	1523	12184
14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	8	1523	12184
15	Составление пояснительной записки	Инженер	4	1523	6092
Итого:					180778

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (8)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (9)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 16);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 7.11).

Таблица 7.11. Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб}$$

где $З_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

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

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $З_{\text{ТС}}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{\text{с1}} = 600$ руб. на тарифный коэффициент $k_{\text{Т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организаций тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 7.12.

Таблица 7.12. Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{ТС}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	27484	0,3	0,2	1,3	53594	2351	16	37616
Инженер	17808	0,3	0,2	1,3	34725	1523	95	144685
Итого $З_{\text{осн}}$								182301

7.3.4.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

7.3.4.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (табл. 7.13).

Таблица 7.13. Отчисления во внебюджетные фонды

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

7.4.3.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов ис-

следования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

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

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

7.3.4.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 7.14.

Таблица 7.14. Расчет бюджета затрат НТИ

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

7.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

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

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводим в виде табличной формы.

Таблица 7.15 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	Φ_{max} , руб.	Φ_{pi} , руб.	$I_{фин}^{исп.i}$, о.е.
1	568400	346800	0,61
2		427300	0,75
3		568400	1

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 (асинхронный электропривод с АВК) отражает соответствующее численное увеличение стоимости электропривода при одинаковой мощности. Схема 3 имеет наибольший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и, следовательно, вариант схемы является менее финансово эффективным, однако более выгодное техническое решение, что является определяющим критерием.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы.

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,6.$$

Таблица 7.16 – Сравнительная оценка характеристик проекта

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

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

Таким образом, применение электроприводов постоянного тока и сейчас остается эффективным. Переход к асинхронным электроприводам с асинхронным вентильным каскадом, целесообразен в момент реструктуризации производства, или в тех производственных процессах, когда применение других представленных схем не целесообразно.

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

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе было проведено исследование статических характеристик асинхронно-вентильного каскада в среде MathCad.

Оценивая в целом перспективность применения вентильных каскадов, можно полагать, что в свете общей тенденции значительного расширения применения регулируемых приводов потребности ряда отраслей техники в таких приводах могут быть с успехом удовлетворены за счет использования систем вентильного каскада.

Сочетание тенденции к расширению областей применения регулируемого электропривода с техническими достоинствами вентильных каскадов, как систем электропривода, соответствующих современным требованиям, позволяет считать, что асинхронные каскады наряду с вентильными приводами постоянного тока будут наиболее перспективны в ближайшие годы для широкого круга механизмов. Применение вентильных каскадов целесообразно главным образом для приводов, требующих неглубокого регулирования скорости вниз от основной.

Первой и основной областью применения вентильных каскадов являются приводы турбокомпрессоров различного назначения, поршневых компрессоров, газовых, холодильных, воздушных и др., шахтных вентиляторов, вентиляторов крупных градирен, насосов промышленного и городского водоснабжения, насосов для гидротранспорта и магистральных газопроводов, питательных насосов электростанций, дымососов, эксгаустеров, мельниц и других подобных машин.

Еще одной характерной областью применения вентильных каскадов является привод испытательных установок. Большинство машиностроительных предприятий имеет мощные испытательные установки, где двигатели внутреннего сгорания, трансмиссии, редукторы и другие механические изделия проходят обкатку и сдаточные и исследовательские испытания. Для привода этих установок в качестве двигательных и тормозных устройств в большинстве слу-

чаев оказывается целесообразным применение вентильных каскадов. Значительные перспективы применения вентильного каскада отрываются при модернизации действующих установок. Такие установки, как шахтные подъемные машины, где подавляющее применение имеют асинхронные двигатели, могут быть снабжены каскадной системой регулирования без замены основного двигателя и остановки производства. Таким же путем могут быть модернизированы некоторые прокатные станы малой мощности, где применяются асинхронные двигатели.

Были рассчитаны энергетические показатели и построена зависимость коэффициента мощности от угловой частоты вращения двигателя. Из анализа графиков видно, что разрабатываемый электропривод имеет высокий коэффициент мощности, что положительно отражается на его энергоэффективности.

Так же были рассмотрены вопросы охраны труда и безопасности жизнедеятельности, влияние разрабатываемого электропривода на окружающую среду. Рассчитана экономическая рентабельность проекта.

Список литературы

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.-М., Энергоиздат, 1981.-576 с., илл.
2. Онищенко Г.Б. Асинхронный вентильный каскад.-М., Энергия, 1967.-152 с., илл.
3. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока часть 1: асинхронный двигатель, – Томск: Изд-во ТПУ, 2005, – 136 с.
4. Хватов С.В., Титов В.Г. Проектирование и расчета синхронного вентильного каскада.-Горький,1977.-91 с.
5. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе.- М., "Энергия", 1977.-432 с., илл.
6. И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Комплектные тиристорные электроприводы: К63.Справочник. Под ред.канд.техн.наук В.М. Перельмутера.-М., Энергоатомиздат, 1988.-319 с., илл.
7. О.Г. Чебовский, Л.Г. Моисеев., Р.П. Недошивин. Силовые п/п приборы. Справочник.- М.,Энергоиздат.
8. Парфенов Э.Е., Прозоров В.А. Вентильные каскады. – Л.: Энергия,1968. – 92 с.
9. Сандлер А.С., Тарасенко Л.М. Динамика каскадных асинхронных электроприводов – М.: Энергия, 1977. – 200с.
10. Ключев В.И. Теория электропривода.-М.: Энергоатомиздат, 1985.-560с.Асинхронный частотно-регулируемый электропривод. «Электротехника» № 2/2000 – 10 с.
11. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.:Энергия, 1968 – 368 с.
12. Медведев Г.Д. Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий. -М. : Недра, 1985-250с.

13. Правила Безопасности в угольных и сланцевых шахтах. –М. :Недра, 1988-288с.
14. Вентиляторы главного и местного проветривания. Отраслевой каталог №209005. –М. : 1990-62с.
15. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
16. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
17. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда
18. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление
19. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
20. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования
21. СНиП П-12-77. Защита от шума
22. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
23. СНиП 2.04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование
24. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92
25. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования
26. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003

27. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
28. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
29. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
30. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
31. Сущность методики FAST в области ФСА [Электронный ресурс] <http://humeur.ru/page/sushhnost-metodiki-fast-v-oblasti-fsa>.