

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники
Профиль – Энергосберегающие режимы работы электрических источников питания,
комплексов и систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка и исследование электропривода насоса перекачки золошлаковой пульпы УДК 621.63-5-83:662.613.124

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Колесник Алексей Геннадьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев И.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ	Бородин Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Отделение электроэнергетики и электротехники (ОЭЭ) инженерной школы энергетики (ИШЭ)	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
ПК-1	Планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований
ПК-2	Самостоятельно выполнять исследования
ПК-3	Проводить поиск по источникам патентной информации, определять патентную чистоту разрабатываемых объектов техники, подготавливать первичные материалы к патентованию изобретений, регистрации программ для электронных вычислительных машин и баз данных
ПК-4	Формулировать технические задания, разрабатывать и использовать средства автоматизации при проектировании и технологической подготовке производства
ПК-5	Применять методы анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений
ПК-6	Осуществлять технико-экономическое обоснование проектов
ПК-7	Использовать элементы экономического анализа в организации и проведении практической деятельности на предприятии
ПК-8	Принимать решения в области электроэнергетики и электротехники с учетом энерго- и ресурсосбережения
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК-1	Формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК-2	Применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК-3	Использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК-4	Использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Профиль Энергосберегающие режимы работы электрических источников питания, комплексов и систем

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель отделения ОЭЭ

Дементьев Ю.Н.

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Л	Колесник Алексею Геннадьевичу

Тема работы:

Разработка и исследование электропривода насоса перекачки золошлаковой пульпы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 07.02.2018 г. № 760/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2018.
--	-------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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 объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>1.Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная. 2.Электропривод неревверсивный, диапазон регулирования $D=I:10$. 3.Номинальная рабочая скорость $n_{ном} = 1470 об/мин$. 4.Скалярное управление $U_1 / f_1^n = const$</p>
<p>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></p>	<p>1. Обоснование выбранной тематики; 2. Анализ исходных данных и принятие предварительных проектных решений 3. Описание исследуемой математической модели 4. Моделирование схемы в программно-аппаратном комплексе MATLAB. 5. Анализ полученных данных.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point)</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Бородин Юрий Викторович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Введение	
2. Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.02.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Чернышев И.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Колесник Алексей Геннадьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Л	Колесник Алексей Геннадьевич

Инженерная школа	Инженерная школа энергетики (ИШЭ)	Отделение	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, финансовых и человеческих ресурсов.</i> 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> 	<p style="text-align: center;"><i>Стоимость материальных ресурсов определить по средней стоимости по г. Томску.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i></p>
<ol style="list-style-type: none"> 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений</i> 	<p><i>В соответствии с Налоговым кодексом РФ</i></p> <p><i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %.</i></p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Планирование комплекса работ (определение состава работы, определение действующих лиц, установление длительности работы)</i> 	<p style="text-align: center;"><i>Расчет временных показателей проведение исследования ТП. Составление календарного план-графика</i></p>
<ol style="list-style-type: none"> 2. <i>Определение трудоемкости выполнения работ</i> 	
<ol style="list-style-type: none"> 3. <i>Расчет бюджета для научно-технического исследования</i> 4. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i> 	<p><i>Определение материальных затрат, подсчет заработной платы исполнителей.</i></p>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Матрица SWOT</i> 2. <i>Диаграмма Ганта</i> 3. <i>Бюджет НИИ</i> 4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i> 	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Фигурко А.А..	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Колесник Алексей Геннадьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Л	Колесник Алексей Геннадьевич

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»	<p><i>Описание рабочего места на предмет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Описание места проведения работ по разделу; – проявлений факторов техносферной безопасности; – Объекта воздействия на окружающую среду (экологическая безопасность); – Места возникновения ЧС (в основном опасность пожара); – п.5. организация работы отдела охраны труда (либо комплексного отдела – ОТ ПБ и ООС), его место расположение
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	<p>1. Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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
	<p>2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты) – термические опасности (источники, средства защиты) – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты);
	<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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.
	<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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.
	<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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
Перечень расчетного и графического материала	<p>Расчет искусственного освещения для помещения (устройства защитного заземления, план эвакуации, ликвидация загрязнений ОС и т.п.)</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ	Бородин Ю.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Колесник Алексей Геннадьевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 101 страницу, 29 рисунков, 13 таблиц, 25 источников.

Насос перекачки золошлаковой пульпы, асинхронный частотно-регулируемый электропривод, преобразователь частоты, система автоматического управления, статические и динамические характеристики, показатели качества регулирования.

Объектом исследования является система автоматического управления насоса перекачки золошлаковой пульпы 250-NBD-620/540-82. Цель работы – разработка и исследование электропривода насоса перекачки золошлаковой пульпы.

В выпускной квалификационной работе произведён расчет и выбор приводного двигателя преобразователя частоты для управления электроприводами. Обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики.

Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы в основных режимах работы.

В разделе экономики произведена оценка инвестиций в модернизацию багерной насосной станции.

В разделе безопасность и экологичность проекта труда рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, в работе использованы программы MATLAB, MathCAD, Microsoft Paint, Microsoft Power Point, Microsoft Visio.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
1.ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	12
1.1 Структура багерной насосной	12
1.2 Схема работы багерной насосной №3	13
1.3 Характеристика обслуживаемого оборудования	15
1.4 Регулирование технологического процесса.	19
1.5 Кинематика электропривода багерного насоса.....	20
2.ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ	21
2.1 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода	21
2.2 Выбор электрического двигателя.....	23
2.3 Выбор преобразователя частоты	24
2.4 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным	31
2.5 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя	36
3.МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ	60
3.1. Расчет динамических характеристик асинхронного двигателя.....	62
3.2. Расчет динамических характеристик скалярной системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель	67
4.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	46
4.1 SWOT-анализ	46
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	50
4.3 Разработка графика проведения научного исследования	53
4.4 Модернизация багерного насоса.....	67
4.5 Затраты на оплату труда	69
4.6 Отчисления на социальные выплаты	70
4.7 Накладные расходы.....	71
4.8 Расчет эксплуатационных затрат	72
4.9 Определение технико-экономических показателей	75
5.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	78
5.1 Комплексный анализ опасных и вредных факторов труда.....	78
5.2Производственная санитария.....	79
5.3Техника безопасности.....	87
5.4 Пожарная безопасность	88
5.5 Охрана окружающей среды	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	92
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	94

ПРИЛОЖЕНИЕ А	97
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	98
ПРИЛОЖЕНИЕ В	99

ВВЕДЕНИЕ

Разработка высокопроизводительных, компактных и экономичных систем управления электроприводами является приоритетным направлением развития современной техники. Рост степени интеграции в микропроцессорной технике и переход от микропроцессоров к микроконтроллерам с встроенным набором специализированных периферийных устройств, сделали необратимой тенденцию массовой замены аналоговых систем управления приводами на системы прямого цифрового управления.

Анализ продукции ведущих мировых производителей систем управления и материалов опубликованных научных исследований в этой области позволяет отметить следующие ярко выраженные тенденции развития электропривода: неуклонно снижается доля систем привода с двигателями постоянного тока и увеличивается доля систем привода с двигателями переменного тока. Это связано с низкой надежностью механического коллектора и более высокой стоимостью коллекторных двигателей постоянного тока. В связи с резким удешевлением статических преобразователей частоты доля частотно-регулируемых асинхронных электроприводов быстро увеличивается.

Перспективные системы управления электроприводов разрабатываются с ориентацией на комплексную автоматизацию технологических процессов и согласованную работу нескольких приводов в составе промышленной сети. Задача синхронизации скоростей и положений механизмов, участвующих в технологическом процессе, является актуальной для многих отраслей промышленности. Согласованное управление позволяет интегрировать отдельные электроприводы в общую систему управления технологическим процессом, обеспечить необходимое качество продукции и исключить простои оборудования.

1.Описание технологического процесса

Багерная насосная является важным звеном, обеспечивающим нормальную работу котлоагрегатов. Выход из строя всех багерных насосов может привести к полному останову станции. Её основное назначение заключается в подачи золошлаковой пульпы поступающей с багерной насосной №1 и №2 на золоотвал №3.

1.1 Структура багерной насосной

В состав комплекса багерной насосной №3 входят следующие помещения:

а) машинный зал в котором установлены: багерные насосы с трубопроводами и запорной арматурой; насосы уплотнения с трубопроводами и арматурой; золопроводы №1, 2, 3; переключки для перехода с одного золопровода на другой с арматурой; трубопроводы технической воды на промывку, оснащенные задвижками с электроприводами; дренажные насосы с трубопроводами и арматурой для откачки воды с дренажного приемка багерной в приемную емкость; отопление и вентиляция; трубопроводы осветленной воды с арматурой для поддержания уровня в приемной емкости;

б) помещение щита управления в котором размещены: компьютер для управления технологическими переключениями; технологическая панель с ключами управления для дублирования (помимо компьютера) основного оборудования; щит контроллеров;

в) щит электрический для управления электроприводами задвижек;

г) помещение РУСН-0,4 кВ, состоящее из двух секций, каждая из которых питается от трансформаторов 1Т и 2Т типа ТСЗ-1000/6;

д) приемная емкость золошлаковой пульпы.

1.2 Схема работы багерной насосной №3

Из приемных емкостей багерных насосных №1 и №2 золошлаковая пульпа, насосами, перекачивается в приемную емкость багерной насосной №3 объемом 500 м^3 . Она разделена перегородкой на две равные секции. К каждой секции подсоединены по два багерных насоса. В перегородке имеется переливное устройство диаметром 600 мм. Проем постоянно открыт, что дает возможность использовать в штатном режиме объем обеих секций. При проведении ремонтных работ на оборудовании, подключенном к одной из секций или очистке приемной секции, переливное устройство обеих сторон блокируется шандорами. Для поддержания уровня и возможности обеспечения работы насосной в автоматическом режиме, в приемную емкость подается осветленная вода по трубопроводу диаметром 325 мм.

Из багерной насосной №3 золошлаковая пульпа поступает на золоотвал по трем золопроводам №1, №2 – диаметром 530 мм и №3 – диаметром 325 мм, с помощью четырех насосов типа 250-NBD-620/540-82 производства Словакии. Багерные насосы NBD: центробежные, радиальные, горизонтальные, спиральные, одноступенчатые с аксиальным входом перекачиваемой жидкости в рабочее колесо, предназначены для гидравлической транспортировки абразивных гидросмесей (взвешенных жидкостей), угольных шлаков и золы. Допустимая температура перекачиваемой гидросмеси $105 \text{ }^\circ\text{C}$, размер зерен примесей (20-60) мм, степень кислотности (5-10) pH при $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Насосы укомплектованы двумя рабочими колесами: 540 мм предназначен для зимнего режима работы и диаметр 580 мм – для летнего режима работы.

Для защиты сальниковых уплотнений от абразивного износа золой предусмотрена подача осветлённой воды от насосов уплотнения. Давление на уплотнение сальниковой набивки насоса должно быть $(0,5-1) \text{ кгс/см}^2$, выше давления нагнетания багерного насоса.

Зимний режим работы

Два насоса работают параллельно, третий насос в резерве, четвертый – ремонтный.

Два рабочих насоса следует выбирать, исходя из условий подключения их к разным секциям приемной емкости, во избежание застойных зон.

Каждый насос подключен к двум магистральным золошлакопроводам диаметром – 530 мм и к одному – диаметром – 325 мм. В зимнем режиме пульпа перекачивается на золоотвал по одному из золошлакопроводов диаметром – 530 мм. Выбор рабочих ниток золошлакопроводов и схемы подключения насосов осуществляется оператором.

Летний режим

Для работы в летнем режиме необходимо выполнить переоборудование трех «зимних насосов» на «летние» путем замены рабочих колес диаметром – 540 мм на колеса диаметром – 580 мм. При этом один багерный насос в работе, второй в резерве и третий в ремонте. Пульпа на золоотвал подается по золошлакопроводу диаметром – 325 мм, а в случае вывода его в ремонт – по одному из золошлакопроводов диаметром – 530 мм, при этом в работе будут находиться два багерных насоса.

Узлы переключения напорных золошлакопроводов оснащены обратными клапанами и задвижками заводов Чехии.

1.3 Характеристика обслуживаемого оборудования

Насос с электродвигателем на общей фундаментной плите устанавливается на ровное бетонное основание. Контролируется по уровню горизонтальность установки и в случае необходимости таковая достигается подкладыванием клиньев. Потом насос закрепляется к фундаменту с помощью фундаментных шпилек и гаек, которые, в случае необходимости, вместе с фундаментной плитой заливаются слоем цементного раствора. Следующая операция связана с выравниванием полумуфт. Контроль соосности валов насоса и электродвигателя осуществляется с помощью индикаторов перемещения. После достижения соосности ротор насоса должен свободно, без задираний, делать полный оборот.

Подключение электродвигателя к сети должно быть произведено в соответствии со схемой. Электродвигатель должен быть предохранён от перегрузок и короткого замыкания. От тепловых перегрузок высоким напряжением электродвигатель должен предохраняться электротепловым реле, от короткого замыкания – предохранительным автоматом или предохранителями. Предохранители ставятся перед пусковым контактором электродвигателя.

Перед первым пуском устройства необходимо путем включения на короткое время электродвигателя определить направление вращения вала электродвигателя. Направление вращения ротора, при взгляде на насос со стороны соединительной муфты, вправо, то есть в направлении часовой стрелки.

Насос никоим образом не может, даже на краткое время, запущен влево (при взгляде на насос со стороны соединительной муфты)! Это может привести к откручиванию рабочего колеса и последующему заклиниванию его во внутреннем корпусе.

Направление вращения электродвигателя можно контролировать только при отключенном муфтовом сцеплении электродвигателя с насосом.

Таблица 1.1 – Характеристики багерных насосов

№ насоса	Тип	Произ-ть зимнего режима, м ³ /ч	Произ-ть летнего режима, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Напряжение, В	Мощность, кВт
БН-8-11	250-NBD-620/540-82	580	540	132	1480	400	315

Таблица 1.2 – Характеристики насосов уплотнения

№ насоса	Тип	Кол-во	Произ-ть, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Напряжение, кВ	Мощность, кВт
1, 2	ЦНСА 38–150	2	40	154	2340	0,4	55

Таблица 1.3 – Характеристики насосов дренажного приямка

№ насоса	Тип	Кол-во	Произ-ть, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Напряжение, кВ	Мощность, кВт
1, 2	СДВ80-18	2	80	18	850	0,4	11

Таблица 1.4 – Двигатели багерной

Название двигателя	Тип	Мощность, кВт	Число оборотов С-1	Напряжение, В	Ток, А	КПД, %	cosφ
Багерного насоса	6А355М4Б	315	1470	380/460	575, 332	94,5	0,88
Насоса уплотнения	180М2У3	30	2925	220/380	96/55,5	91	0,9

Ещё недавно для поддержания скорости пульпы в подающем золошлакопроводе, не менее 1,2 м/с и уровня в приемной ёмкости, приходилось периодически включать/выключать электродвигатели, приводящие в действие насосы, закрывать задвижки, всё это осуществлялось вручную. Частые процессы включения/выключения приводили к тому, что у оборудования уменьшался ресурс эксплуатации, снижалась надежность и, конечно же, неграмотно расходовалась электроэнергия и как следствие рост издержек, а затем и тарифов.

Вследствие чего, для обеспечения требуемой надежности, оптимального режима перекачки пульпы, а так же снижения эксплуатационных и ремонтных затрат на багерных насосах, было принято решение о использовании частотных приводов для управления электродвигателями. Путем соотношения цена-качество была выбрана продукция одного из мировых лидеров по производству электроприводов – фирма Danfoss.

Функции регулятора скорости вращения выполняют два частотных преобразователя типа VLT-6400. Каждый из 4-х багерных насосов №8, 9, 10, 11 может быть включен в работу как от частотного преобразователя, так и от устройства плавного пуска.

Алгоритм управления багерной насосной в автоматическом режиме предусматривает два контура регулирования технологического процесса:

1 регулирование частоты вращения насосов по уровню и скорости пульпы, причем, если в регулировании находятся два насоса, пропорциональная и интегральная части регулятора должны быть ослаблены примерно вдвое. Возможность изменения степени ослабления во время работы.

2 регулирование подачи осветленной воды по уровню в приемном бункере.

1.4 Регулирование технологического процесса.

Основополагающим критерием, в режиме штатной работы багерной насосной, является:

- поддержание скорости пульпы в подающем золошлакопроводе, не менее 1,2 м/с;
- поддержание уровня в приемной емкости не допускающего перелива и срыва работающего багерного насоса в пределах $H=(1,6-1,8)$ м.

В случае если уровень в приемной емкости возрастает, допускается некоторое повышение скорости пульпы в золошлакопроводе до 2 м/с, если уровень не восстанавливается, появляется сигнал – “превышение уровня” оператор принимает меры по сокращению притока золы пульпы с багерных №1 и 2. Для этой цели предусмотрена визуализация уровней в приемках багерных №1 и 2 на экране панели оператора. В случае если не удастся понизить уровень, при дальнейшем его повышении автоматически включается резервный насос.

В случае опускания уровня в приемной емкости до 1,5 м, автоматически подключается локальный регулятор, поддерживающий уровень, подачей осветленной воды, стабилизируя его на этой отметке 1,5 м.

Насосы уплотнения предназначены для подачи чистой воды на уплотнения багерных насосов №8-11.

На багерной насосной №3 установлено два насоса уплотнения. В нормальном режиме один из насосов находится в работе, а другой с собранной схемой находится в резерве. Включение и отключение насоса производится ключом управления, находящимся на панели управления (ПУ) или от компьютера через контроллер.

Электродвигатель насоса уплотнения имеет следующие электрические защиты:

- токовая отсечка (встроенная в автоматический выключатель);
- максимально-токовая защита (реле P211);

- перегрузка электродвигателя (реле Р211);
- обрыв и перекос фаз (реле Р211);
- защита минимального тока (реле Р211).

Дренажные насосы предназначены для откачки охлаждающей воды насосов с дренажного приемка в приёмную ёмкость насосной. Автоматический режим обеспечивается работой двух насосов, один из которых находится в работе, второй на АВР. При достижении верхнего уровня в приемке дренажных насосов автоматически (через контроллер) включается дренажный насос, если происходит дальнейшее повышение уровня до границы аварийного, включается второй насос. При достижении водой нижнего уровня автоматически (через контроллер) отключаются оба дренажных насоса.

1.5 Кинематика электропривода багерного насоса

Кинематическая схема электропривода багерного насоса, приведена на рисунке 1.1.

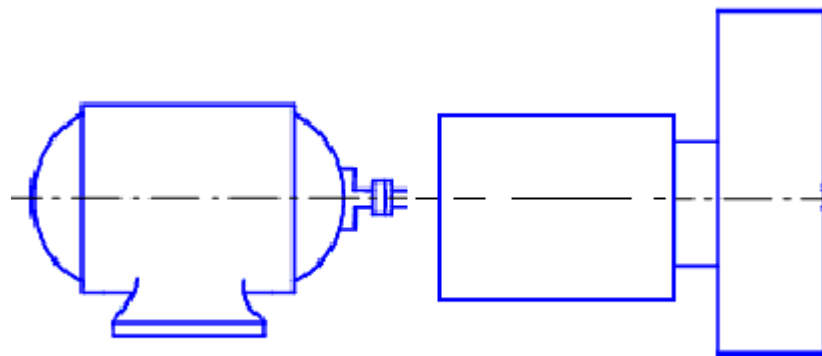


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема электропривода багерного насоса
Кинематическая схема насоса имеет электродвигатель (ЭД) и муфту.

2. Выбор электрического оборудования и расчёт параметров

2.1 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода

Выбор системы управления электропривода является одним из важных этапов процесса проектирования, так как от этого будет зависеть технико-экономический успех. Поэтому необходимо проанализировать различные системы электропривода и выбрать ту, которая в большей степени будет удовлетворять технологическим и экономическим требованиям, предъявленным к электроприводу.

Режим работы является длительным, не предусматривающим частых пусков и остановок. Нагрузка имеет вентильный характер, статический момент зависит от скорости.

Представляется перспективным использовать асинхронные электроприводы с частотным регулированием, которые по функциональным возможностям и эксплуатационным характеристикам отвечают техническим требованиям и условиям поставленной задачи. Однако, при принятии решения необходимо правильно оценить затраты, и что более важно, соизмерить их с достигаемым при этом эффектом.

Наиболее существенные экономические предпосылки использования асинхронного электропривода:

Низкая стоимость. Асинхронная короткозамкнутая машина имеет более низкую стоимость по отношению к машине постоянного тока. Связано это с ее более простой конструкцией и высокой технологичностью изготовления.

Асинхронные двигатели распространены гораздо шире, чем какие либо другие виды электрических машин.

Низкие эксплуатационные затраты. Асинхронная короткозамкнутая машина практически не требует обслуживания в течение всего времени эксплуатации. В то время как машина постоянного тока нуждается в регулярном обслуживании коллекторного узла.

Ремонт электрической машины. Общая совокупность затрат на организацию и проведение ремонта двигателей постоянного тока зачастую оказывается соизмеримой (а для данного применения – превышает) со стоимостью новой асинхронной короткозамкнутой машины.

Степень защиты. Исполнения асинхронных короткозамкнутых машин имеют широкий ряд степеней защиты.

Приведенные преимущества асинхронной машины не учитывают того факта, что двигатель будет работать совместно с преобразователем частоты. Незнание ряда особенностей такой работы (по существу – недостатков) может привести в лучшем случае к нерациональному использованию привода, а в худшем – неправильному его выбору. Отметим те из них, которые отвечают за оптимальные энергетические показатели и правильный выбор привода по мощности.

При работе асинхронных двигателей от преобразователей частоты их КПД снижается на (2-3) %, а $\cos\varphi$ до 5 %. Добавочные высокочастотные потери, вызванные несинусоидальностью напряжения, вызывают нагрев двигателя и снижение полезной мощности на его валу (до 25 %). Наличие добавочных потерь в обмотках и в стали магнитопровода обусловлено высшими гармониками тока и магнитного потока. Поэтому, при использовании асинхронных приводов с частотным регулированием, принимают меры по улучшению гармонического состава (устанавливают дополнительные устройства, корректируют параметры настройки преобразователя и т.п.).

Выбор частотно-регулируемого привода для данного типа объектов автоматизации имеет ряд особенностей, связанных с необходимостью согласованного управления несколькими электроприводами. Поэтому, несмотря на то, что диапазон регулирования скорости сравнительно невелик, необходимо использовать замкнутые системы регулирования, основанные на принципах векторного управления.

Немаловажным обстоятельством, свидетельствующим в пользу частотно-регулируемого электропривода является и то, что современные

преобразователи частоты легко интегрируются в любые системы управления, как низовой интеллектуальный элемент автоматики, не требуют сложных согласующих схем и обладают отличным набором встроенных сервисных возможностей (контроль за током и скоростью приводного двигателя, развитая система защит и т.д.).

2.2 Выбор электрического двигателя

Для привода насоса перекачки золошлаковой пульпы выбираем электродвигатель 6А355М4, паспортные данные которого приведены в таблице 2.1. [4]

Таблица 2.1 – Паспортные данные двигателя 6А355М4

Тип двигателя	Синх. частота вращения, об/мин	Момент инерции, кг·м ²	Мощность кВт	При номинальной нагрузке			
				<i>s</i>	<i>I, A</i>	<i>η, %</i>	<i>cosφ</i>
6А 355М4	1500	6,2	315	0,017	548,9	94,5	0,92

Продолжение таблицы 2.1

$\frac{M_{II}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{max}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{min}}{M_{НОМ}}$	$\frac{I_{II}}{I_{НОМ}}$
1	1,9	0,9	7

2.3 Выбор преобразователя частоты

В приводах используются современные технологии регулирования скорости, позволяющие уменьшить потребление электроэнергии и стоимость обслуживания. Приводы могут работать в наихудших условиях, характерных для эксплуатации установок HVAC: при фазовых потерях или изменениях параметров сети питания и в условиях нагрева.

Существует целый ряд приводов семейства VLT 6400, отвечающих требованиям большинства установок HVAC: от 1,1 до 250 кВт при напряжении (280-460) В и от 1,1 до 45 кВт при напряжении от (200-240) В. Даже корпуса приводов соответствуют требованиям, предъявленным к установкам HVAC: от стандартного корпуса типа IP 20 до IP 54.

Всё дополнительное оборудование (фильтры против высокочастотных помех, дроссели во внутренних цепях постоянного тока, двухканальный PID-контроллер) приводов VLT 6400 уже встроено в приводы.

Центробежные насосы могут являться основными потребителями энергии, а значит потенциальное значение привода для экономии энергии достаточно велико.

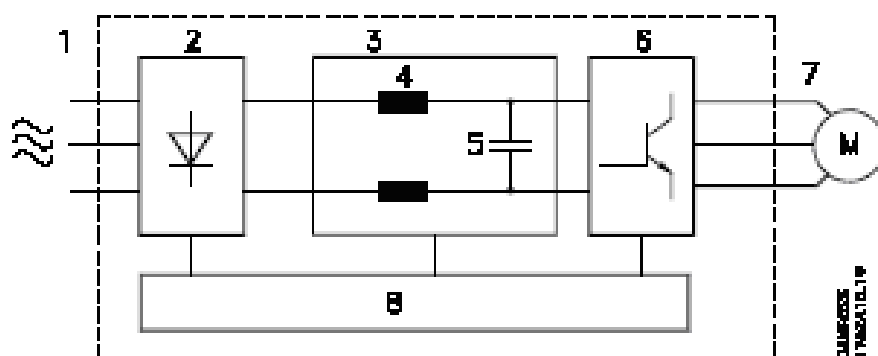


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема преобразователя частоты

Преобразователь частоты состоит из следующих элементов:

- 1 Напряжение сети;
- 2 Выпрямитель (мостовой);
- 3 Промежуточная цепь;

4 Катушка промежуточной цепи (выравнивают напряжение промежуточной цепи и уменьшают обратную связь по синусоидальному току к питанию сети от сети переменного тока);

5 Конденсаторы промежуточной цепи (выравнивают напряжение промежуточной цепи);

6 Инвертор (преобразует постоянный ток в регулируемый переменный ток с переменной частотой);

7 Напряжение двигателя;

8 Плата управления (компьютер, управляющий инвертором).

Преобразователь частоты выпрямляет переменный ток из сети в постоянный ток, после чего постоянный ток преобразуется в переменный ток с переменной амплитудой и частотой. Таким образом, двигатель обеспечивается регулируемым напряжением и частотой, что позволяет регулировать частоту вращения стандартных трехфазных двигателей переменного тока в широком диапазоне.

Обычно характеристики U/f должны устанавливаться на основе ожидаемой нагрузки при различных частотах. Однако часто очень трудно выявить нагрузку в установке на конкретной частоте, эту проблему можно решить, применяя VLT 6400 HVAC со встроенной функцией автоматической оптимизации энергопотребления, которая обеспечивает оптимальное использование электрической энергии. Во всех установках VLT 6400 HVAC эта функция фигурирует как заводская установка, т.е. нет необходимости регулировать соотношение U/f преобразователя частоты для того, чтобы добиться экономии электроэнергии. В других преобразователях частоты, чтобы произвести правильную установку параметров преобразователя частоты, требуется определить заданную нагрузку и напряжение/частоты (U/f).

При использовании автоматической оптимизации энергопотребления нет необходимости рассчитывать или оценивать системные характеристики установки, так как установки VLT 6400 HVAC фирмы Danfoss гарантируют

оптимальное, зависящее от нагрузки, потребление энергии двигателем в любое время.

На графике (см. рисунок 2.2) показан рабочий диапазон функции АОЭ, в пределах которого возможна оптимизация энергопотребления.

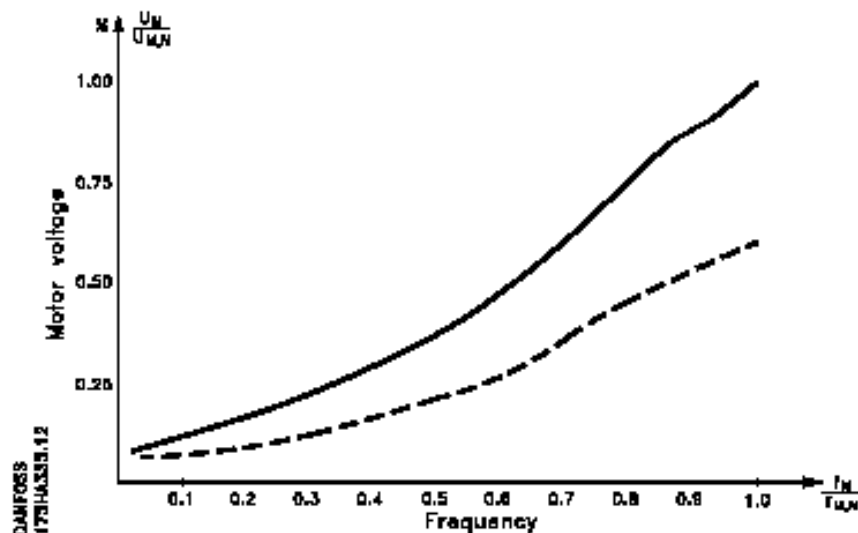


Рисунок 2.2 – График зависимости U/f

Если функция АОЭ выбрана в параметре 101-Характеристика крутящего момента, то эта функция будет действовать постоянно. Если имеется большое отклонение от оптимального соотношения U/f , преобразователь частоты VLT быстро произведет самонастройку.

Преимущества функции АОЭ:

- Автоматическая оптимизация энергопотребления;
- Компенсация при использовании двигателя, превышающего номинальный размер;
- АОЭ подгоняет операции к дневным и сезонным колебаниям;
- Экономия электроэнергии;
- Компенсация в превышенном синхронном рабочем диапазоне;
- Снижение акустических шумов двигателя.

Фирма Данфосс предлагает ряд возможностей последовательной связи. Последовательная связь позволяет производить текущий мониторинг, программирование и управление одной или несколькими установками с центрально расположенного компьютера.

Все установки VLT 6400 HVAC оснащены в качестве стандарта портом RS-485 с возможностью выбора трех протоколов. Три протокола, которые можно выбрать в параметре 500.

Протокол передачи:

Протокол FC; Johnson Controls Metasys №2; landis/Staefa FLN.

Использование порта RS-485 дает возможность осуществлять связь, например, с ПК. Для этой цели может поставляться программа для Windows, называемая “Диалог программного обеспечения”. Она может использоваться для мониторинга, программирования и регулирования одной или нескольких установок VLT 6400 HVAC.

Преобразователь частоты VLT должен устанавливаться вертикально. Преобразователь частоты VLT охлаждается посредством циркуляции воздуха. Чтобы устройство могло высвободить охлаждающий воздух, минимальное расстояние над блоком и под ним должно быть таким, как показано на рисунке ниже. Для защиты устройства от перегрева следует обеспечить, чтобы температура окружающей среды не поднималась выше максимальной температуры, установленной для преобразователя частоты VLT, и чтобы была превышена средняя суточная температура. Если температура окружающей среды находится в диапазоне (45-55) °C, то не исключено снижение номинальных значений преобразователя частоты. Срок службы преобразователя частоты VLT сократится, если не принимать в расчет снижение номинальных значений в связи с температурой окружающей среды.

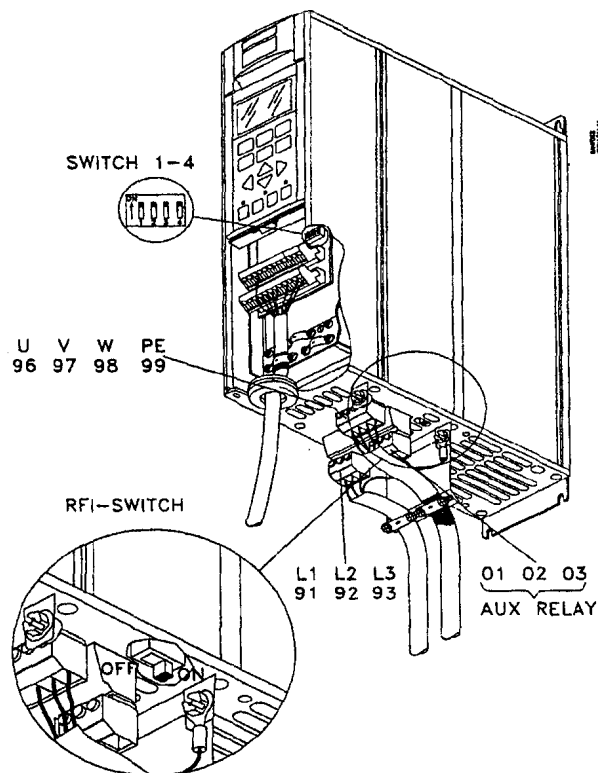
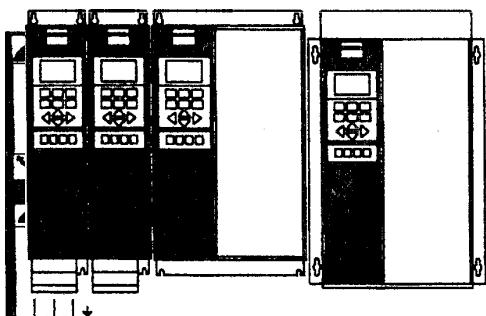


Рисунок 2.3 – Внешний вид преобразователей частоты серии VLT 6400
Охлаждение

Все упомянутые выше устройства требуют минимум 100 мм воздушного пространства над корпусом и под ним.



Установка вплотную друг к другу

Все упомянутые выше устройства могут быть установлены вплотную друг к другу без зазоров, поскольку эти устройства не требуют охлаждения с боковых сторон.

Рисунок 2.4 – Корпуса

Нельзя устанавливать ПЧ в среде, воздух которой содержит взвешанные жидкости, частицы или газы. Если не принимать мер по защите, то сокращается срок службы, и имеется риск остановок в работе. В таких условиях рекомендуется применять корпуса с классом защиты IP54.

На схеме приведенной ниже показан типичный пример установки VLT 6400 VAC.

Сетевое питание подается на зажимы 91 (L1), 92 (L2) и 93(L3), в то время как двигатель подсоединяется к зажимам 96 (U), 97 (V) и 98 (W). Эти номера имеются также на зажимах преобразователя частоты VLT. Внешний источник постоянного тока или дополнительная 12 – импульсная установка могут подсоединяться к зажимам 88 и 89.

Аналоговые входы могут подсоединяться к зажимам 53 [V], 54 [V] и 60 [A]. Эти входы могут программироваться на задание, обратную связь или термистор. См. Аналоговые входы в группе параметров 300.

Имеется 8 цифровых входов, которые могут подсоединяться к зажимам 16-19, 27, 29, 32, 33.

Имеется два аналоговых/цифровых выхода (зажимы 42 и 45), которые могут программироваться для показания существующего состояния или технологической величины. Выходы реле 1 и 2 могут использоваться для показания существующего состояния или предупреждения. На зажимах 68 (P+) и 69 (N-) интерфейса RS-485 преобразователь частоты VLT может управляться и контролироваться через последовательную связь.

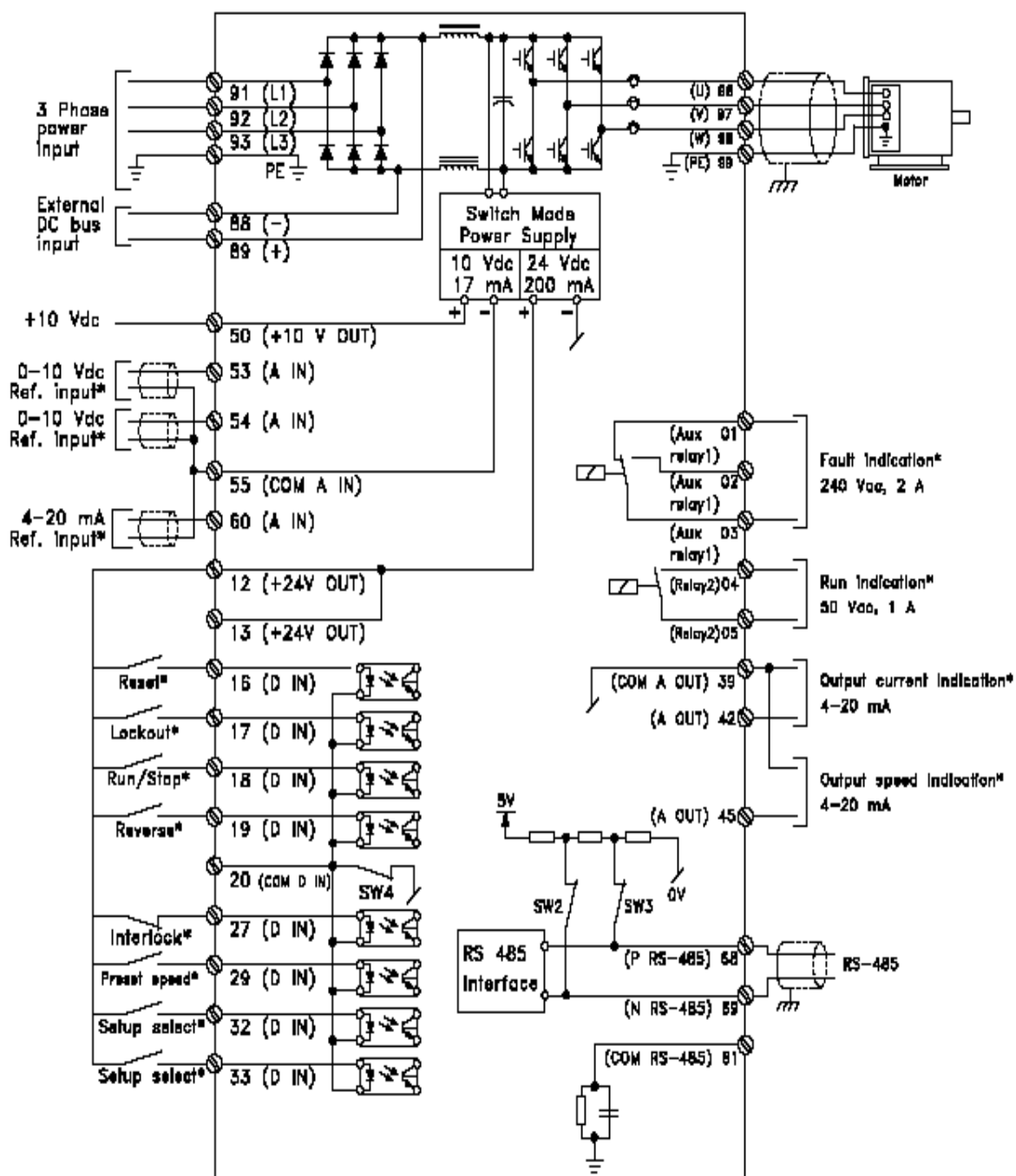


Рисунок 2.5 – Электрическая схема преобразователя частоты

Передняя сторона преобразователя частоты VLT представляет собой панель управления LCP (Локальная панель управления), которая является полным интерфейсом для обслуживания и программирования VLT 6400 HVAC это съемная панель управления, она может устанавливаться – в качестве альтернативы – на расстоянии до 3 метров от ПЧ.

Функции панели управления могут быть разделены на пять групп:

- 1 Дисплей;
- 2 Клавиатура для изменения режима дисплея;
- 3 Клавиатура для изменения параметров программы;
- 4 Индикаторные лампы;
- 5 Клавиатура локального обслуживания установки.

Все данные выводятся на 4-строчный алфавитно-цифровой дисплей, на котором, при нормальной работе, могут непрерывно показываться 4 рабочих параметра и 3 рабочих режима. В процессе программирования будет отображаться вся информация, необходимая для быстрой и эффективной установки параметров преобразователя частоты VLT. В дополнение к дисплею имеются три индикаторные лампы для напряжения (ON), предупреждения (WARNING) и аварийной сигнализации (ALARM).

Все уставки параметров преобразователя частоты VLT могут изменяться немедленно с панели управления.

2.4 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя воспользуемся его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 2.6.

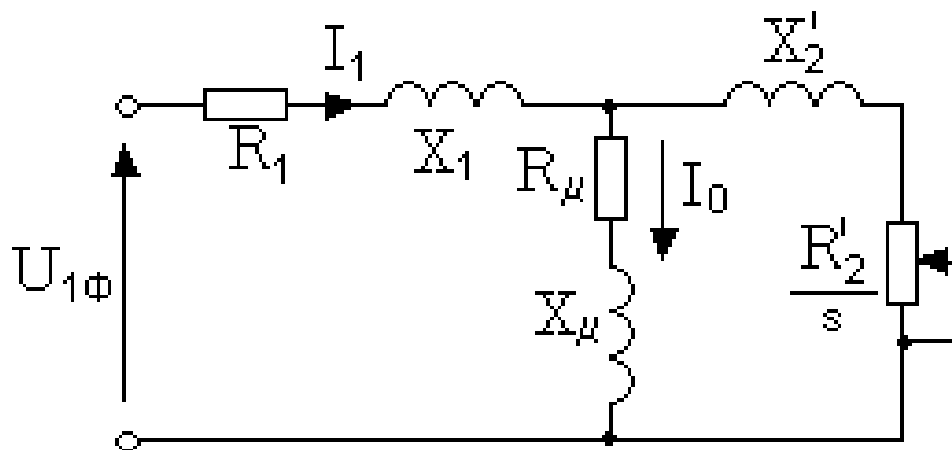


Рисунок 2.6 – Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\overline{U_{1\phi}} - \overline{E_1} - j \cdot X_1 \cdot \overline{I_1} = 0;$$

$$\overline{E_1} + j \cdot X_2' \cdot \overline{I_2}' + R_2' \cdot \overline{I_2}' / s = 0;$$

$$\overline{I_1} + \overline{I_2}' - \overline{I_0} = 0.$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих системе основных уравнений асинхронного двигателя, представлена на рисунке 9.

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя 6А355М4 по его каталожным данным (таблица 2.1) в соответствии с методикой, изложенной в [17]. Расчеты выполним при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют $0,02 P_n$;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

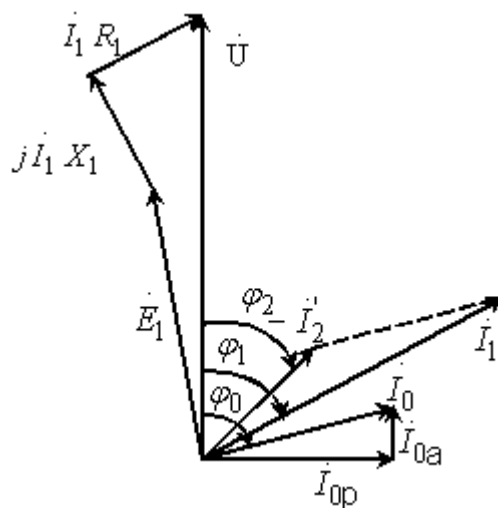


Рисунок 2.7 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Номинальная частота вращения

$$n_n = n_0 \cdot (1 - S_n) = 1500 \cdot (1 - 0,017) = 1474,5 \text{ об/мин.} \quad (2.1)$$

Угловая синхронная скорость вращения

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад/с.} \quad (2.2)$$

Номинальная угловая скорость вращения

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1474,5}{60} = 154,3 \text{ рад/с.} \quad (2.3)$$

Номинальный ток цепи обмотки статора

$$I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_n \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{315000}{3 \cdot 220 \cdot 0,92 \cdot 0,945} = 548,9 \text{ А.} \quad (2.4)$$

Ток статора при частичной нагрузке

$$I_{11} = \frac{P_* \cdot P_n}{3 \cdot U_n \cos \varphi_* \cdot \eta_*} = \frac{0,75 \cdot 315000}{3 \cdot 220 \cdot 0,911 \cdot 0,945} = 415,885 \text{ А.} \quad (2.5)$$

Данные о коэффициенте мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе отсутствуют. Определим эти параметры, руководствуясь следующими соображениями:

– современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на (10-15) % меньше номинальной, т.к. большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $P_* = 0,75$ практически равны между собой, т.е. $\eta_n \approx \eta_{0,75} = 0,945$.

– коэффициент мощности при той же нагрузке $P_* = 0,75$ значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя. Согласно зависимости, приведенной на рисунке 10, $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_n = 1$, тогда $\cos \varphi_{p*} = 1 \cdot \cos \varphi_n = 1 \cdot 0,911 = 0,911$.

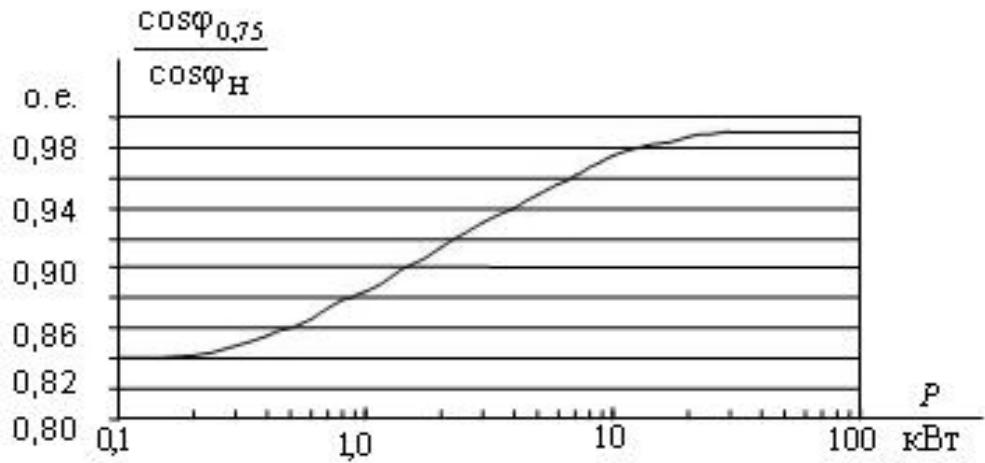


Рисунок 2.8 – Зависимость $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$ от мощности асинхронного двигателя

Ток холостого хода

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{P_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - S_H)}{1 - P_* \cdot S_H} \right)^2}{1 - \left(\frac{P_* \cdot (1 - S_H)}{1 - S_H \cdot P_*} \right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{415,885^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 548,9 \cdot (1 - 0,017)}{1 - 0,75 \cdot 0,017} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,017)}{1 - 0,75 \cdot 0,017} \right)^2}} = 105,232 \text{ A.} \quad (2.6)$$

Значение активного сопротивления цепи ротора, приведенного к обмотке статора

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_k} \right) \cdot C_1} = \frac{0,098}{\left(1 + \frac{1}{0,062} \right) \cdot 1,014} = 0,00675 \text{ Ом}, \quad (2.7)$$

где $\beta = (0,6 - 2,5)$, в первом приближении принимаем значение коэффициента $\beta = 1$;

$$S_k = S_H \cdot \frac{K_{\max} + \sqrt{(K_{\max})^2 - (1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (K_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (K_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,017 \cdot \frac{1,9 + \sqrt{1,9^2 - (1 - 2 \cdot 0,017 \cdot 1 \cdot (1,9 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,017 \cdot 1 \cdot (1,9 - 1)} = 0,062 \text{ о.е.} - \text{критическое} \quad (2.8)$$

скольжение;

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_i \cdot I_n} = 1 + \frac{199,571}{2 \cdot 7 \cdot 548,9} = 1,014 \text{ о.е.} - \text{коэффициент} \quad (2.9)$$

пропорциональности;

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 \cdot K_{\max} \cdot P_n} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,017)}{2 \cdot 1,014 \cdot 1,9 \cdot 315000} = 0,118 \text{ Ом.} \quad (2.10)$$

Активное сопротивление цепи статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,014 \cdot 0,00675 \cdot 1 = 0,00685 \text{ Ом.} \quad (2.11)$$

Значение индуктивного сопротивления короткого замыкания

$$X_{\kappa} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 16,146 \cdot 1,014 \cdot 0,00675 = 0,111 \text{ Ом,} \quad (2.12)$$

$$\text{где } \gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{S_{\kappa}}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,062}\right)^2 - 1^2} = 16,146 \text{ о.е.} \quad (2.13)$$

Индуктивное сопротивление ротора, приведенное к обмотке ротора

$$X_2' = \frac{0,58 \cdot X_{\kappa}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,111}{1,014} = 0,063 \text{ Ом.} \quad (2.14)$$

Индуктивное сопротивление статора

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{\kappa} = 0,42 \cdot 0,111 = 0,046 \text{ Ом.} \quad (2.15)$$

Значение критического скольжения

$$S_{\kappa} = C_1 \cdot \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{\kappa}^2}} = 1,014 \cdot \frac{0,00675}{\sqrt{0,00685^2 + 0,111^2}} = 0,062 \text{ о.е.} \quad (2.16)$$

Полученное значение критического скольжения совпадает с рассчитанным выше.

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме

$$E_1 = \sqrt{(U_{1n} \cdot \cos \varphi_{1n} - R_1 \cdot I_{1n})^2 + (U_{1n} \cdot \sin \varphi_{1n} + X_1 \cdot I_{1n})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0,92 - 0,00685 \cdot 548,9)^2 + (220 \cdot 0,392 + 0,046 \cdot 548,9)^2} = 207,72 \text{ В.} \quad (2.17)$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\text{мн}} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{207,72}{105,232} = 1,974 \text{ Ом.} \quad (2.18)$$

Расчетные параметры схемы замещения сведены в таблицу 2.2. Используя параметры схемы замещения, можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик.

Таблица 2.2 – Расчетные параметры схемы замещения АД

$R_1, \text{Ом}$	$R_2', \text{Ом}$	$X_{\text{кн}}, \text{Ом}$	$X_{1\text{н}}, \text{Ом}$	$X_{2\text{н}}', \text{Ом}$	$X_{\text{мн}}, \text{Ом}$
0,00685	0,00675	0,111	0,046	0,063	1,974

2.5 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{н}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{мн}}} \right)^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,00675}{157,1 \cdot s \cdot \left[0,111^2 + \left(0,00685 + \frac{0,00675}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,00685 \cdot 0,00675}{s \cdot 1,974} \right)^2 \right]}. \quad (2.19)$$

Естественная механическая характеристика двигателя представлена на рисунке 10.

Механическая характеристика (см. рисунок 2.9), полученная при расчетах по параметрам схемы замещения, соответствует асинхронному двигателю с ненасыщенной магнитной системой, а её своеобразие определяется зависимостью индуктивного сопротивления ротора от скольжения.

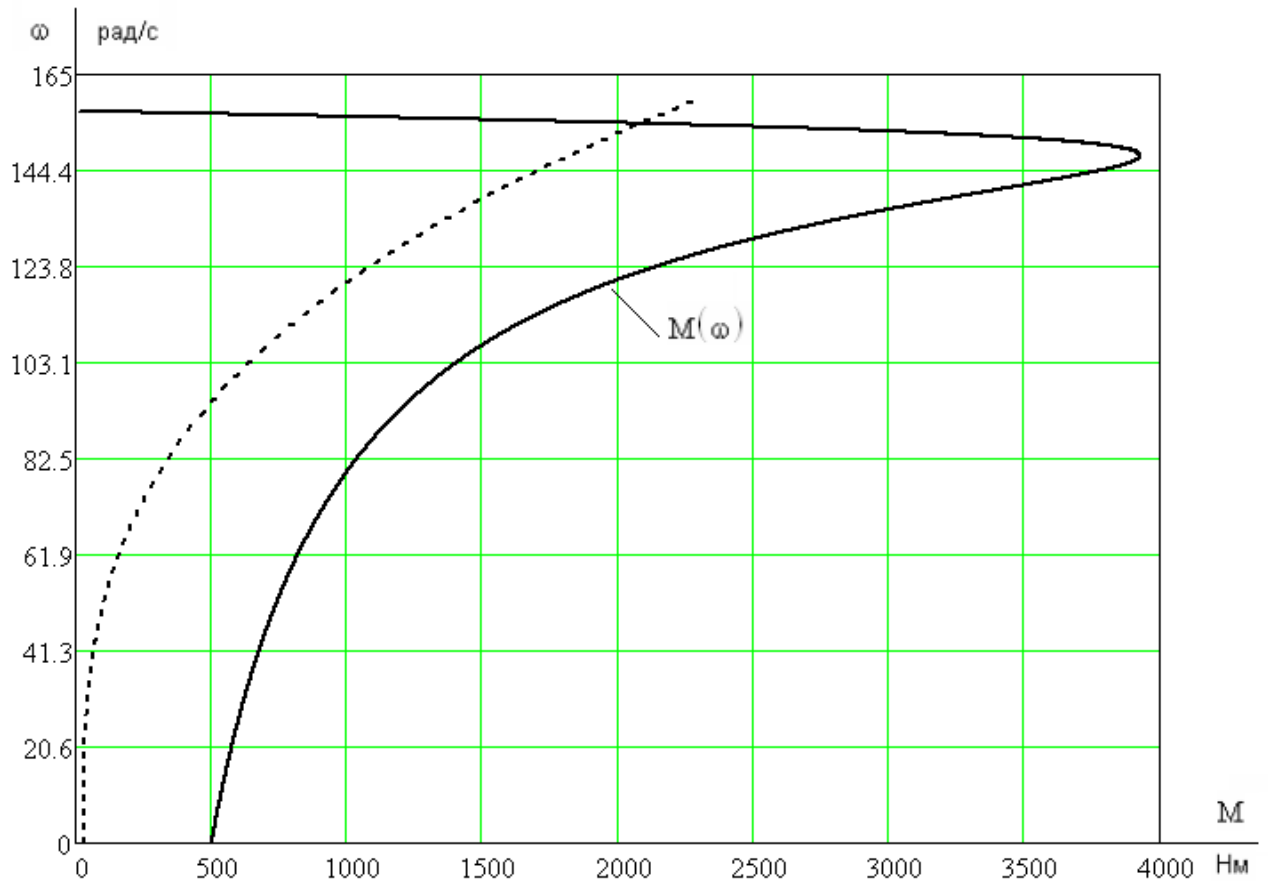


Рисунок 2.9 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $M = f(\omega)$ и насоса $M_c = f(\omega)$

Номинальный момент двигателя

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{315000}{154,3} = 2041,48 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.20)$$

Минимальный момент двигателя

$$M_{\text{мин}} = k_{\text{мин}} \cdot M_n = 0,9 \cdot 2041,48 = 1837,332 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.21)$$

Максимальный момент двигателя

$$M_{\text{макс}} = k_{\text{макс}} \cdot M_n = 1,9 \cdot 2041,48 = 3878,812 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.22)$$

Пусковой момент двигателя

$$M_n = k_n \cdot M_n = 1 \cdot 2041,48 = 2041,48 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.23)$$

Отклонение по пусковому моменту между расчётными и каталожными данными менее 5 %. Таким образом, рассчитанные значения параметров схемы

замещения достаточно точно соответствуют действительным параметрам электродвигателя.

Естественная электромеханическая характеристика, определяющая зависимость приведенного тока ротора от скольжения

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{эт}}^2}} = \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0,00685 + \frac{0,00675}{s}\right)^2 + 0,111^2}}. \quad (2.24)$$

Ток статора \bar{I}_1 определяется путем сложения вектора тока намагничивания \bar{I}_0 и вектора тока ротора \bar{I}_2' согласно векторной диаграмме (см. рисунок 8). Полагаем ток намагничивания асинхронного двигателя I_0 реактивным ($I_{0A} = 0$).

Ток статора

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = \sqrt{105,232^2 + I_2'^2 + 2 \cdot 105,232 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2}, \quad (2.25)$$

$$\text{где } \sin \varphi_2 = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{мн}}^2}} = \frac{0,111}{\sqrt{\left(0,00685 + \frac{0,00675}{s}\right)^2 + 1,974^2}}. \quad (2.26)$$

Естественная электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$ приведена на рисунке 2.10.

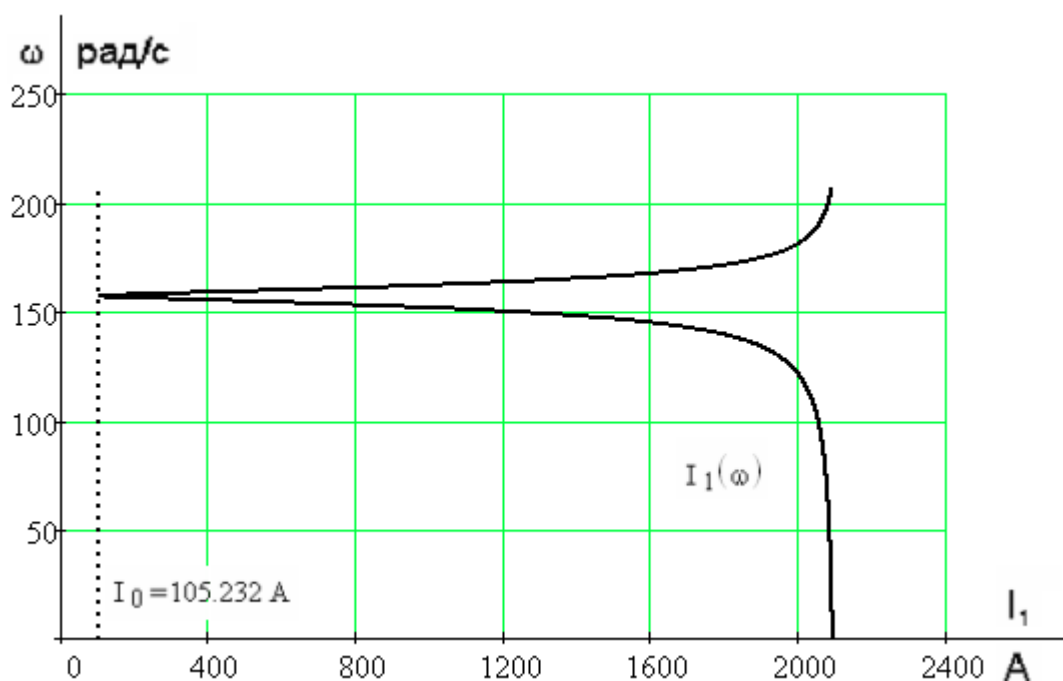


Рисунок 2.10 – Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя $I_1 = f(\omega)$

2.6 Статические характеристики насоса при регулировании

скорости по закону регулирования $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$ с **IR- компенсацией**

Такой класс законов регулирования в ЭП переменного тока получил широкое применение. Однако, при регулировании скорости при помощи данного закона, необходимо повышать фазное напряжение на двигателе на величину, определенное уравнением $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$, т.е на величину падения напряжения на R_1 .

$$f_{1n1} = 50 \text{ Гц}; f_{11}^* = \frac{f_{1n1}}{f_{1n}} = \frac{50}{50} = 1; \quad (2.27)$$

$$f_{1n2} = 25 \text{ Гц}; f_{12}^* = \frac{f_{1n2}}{f_{1n}} = \frac{25}{50} = 0,5; \quad (2.28)$$

$$f_{1n3} = 10 \text{ Гц}; f_{13}^* = \frac{f_{1n3}}{f_{1n}} = \frac{10}{50} = 0,2; \quad (2.29)$$

$$f_{1n4} = 5 \text{ Гц}; f_{14}^* = \frac{f_{1n4}}{f_{1n}} = \frac{5}{50} = 0,1. \quad (2.30)$$

Для поддержания отношения $U/f^2 = const$, необходимо изменять напряжение :

$$U_{1n2} = 0,088 \cdot f_{1n2}^2 \quad U_{1n2} = 55 \text{ В}; \quad (2.31)$$

$$U_{1n3} = 0,088 \cdot f_{1n3}^2 \quad U_{1n3} = 8,8 \text{ В}; \quad (2.32)$$

$$U_{1n4} = 0,088 \cdot f_{1n4}^2 \quad U_{1n4} = 2,2 \text{ В}. \quad (2.33)$$

Синхронная скорость на естественной характеристике

$$\omega_0 = \frac{n_0}{9,55} = 157,08 \text{ рад/с}. \quad (2.34)$$

Синхронная скорость на регулировочных характеристиках

$$\omega_{12} = \omega_0 \cdot f_{12}^* = 157,08 \cdot 0,5 = 78,54 \text{ рад/с}; \quad (2.35)$$

$$\omega_{13} = \omega_0 \cdot f_{13}^* = 157,08 \cdot 0,2 = 31,416 \text{ рад/с}; \quad (2.36)$$

$$\omega_{14} = \omega_0 \cdot f_{14}^* = 157,08 \cdot 0,1 = 15,708 \text{ рад/с}. \quad (2.37)$$

Рассчитаем электромеханические характеристики АД $I_2' = f(\omega)$ при различных значениях частот обмоток статора

Электромеханические характеристики, определяющие зависимость приведенного тока ротора от скольжения

$$I_2(s) = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + X_K^2 \cdot f_1 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_\mu \cdot f_1}\right)^2}}, \quad (2.38)$$

где $S_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}$ – относительное скольжение. (2.39)

Пример расчета для $S_j = 1, R_l = 0,046 \text{ Ом}, f_{1*} = 1$:

$$I_2' = \frac{220}{\sqrt{0,00685^2 \cdot 1^2 + \left(0,00685 + \frac{0,00675}{1}\right)^2 + \left(\frac{0,00685 \cdot 0,00675}{1 \cdot 0,111 \cdot 1}\right)^2}} = 2337 \text{ А},$$

где U_{1j} – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1H}}$ – относительное значение частоты питающего напряжения.

Электромеханические характеристики представлены на рисунке 2.11.

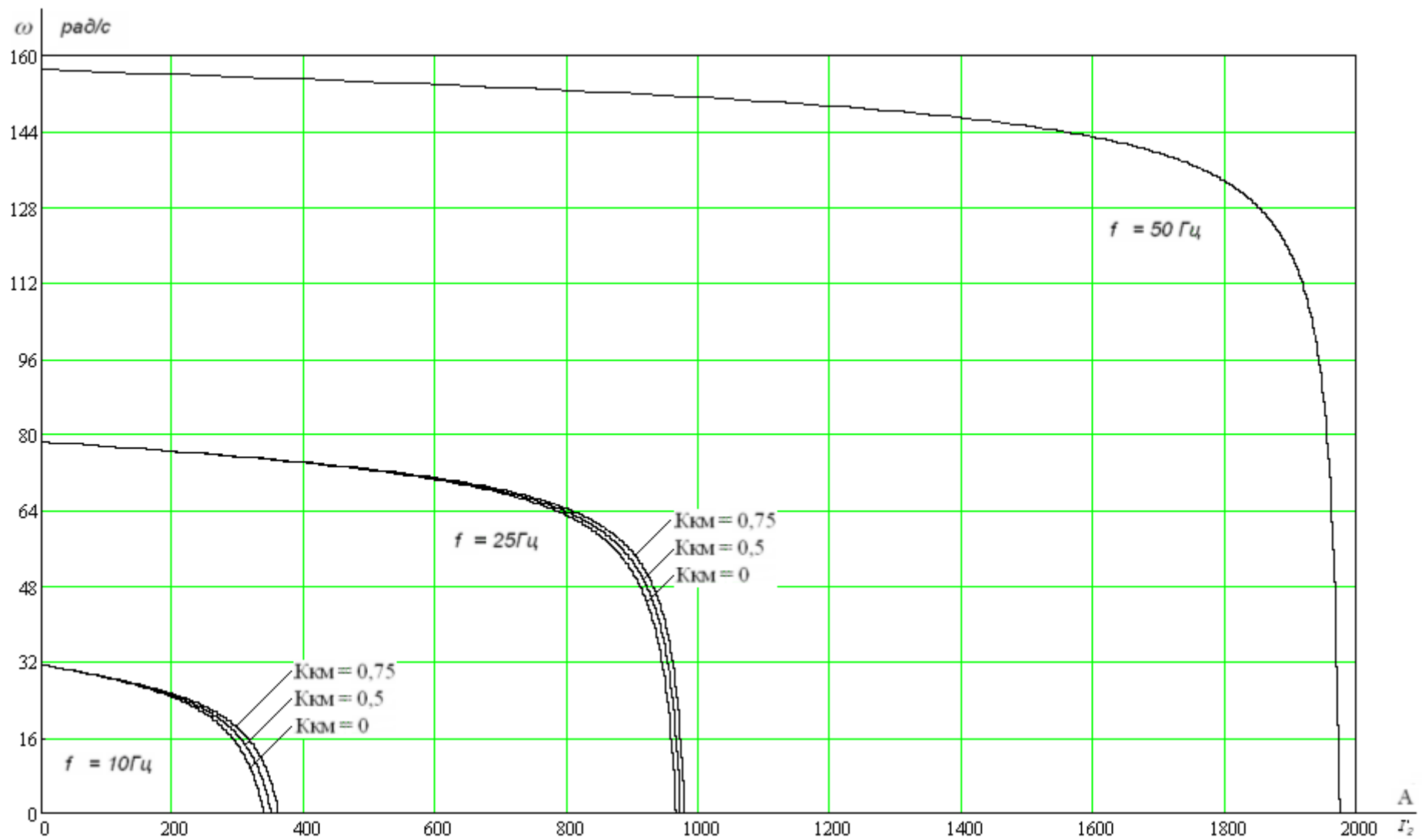


Рисунок 2.11 – Электромеханические характеристики $I_2 = f(\omega)$

Рассчитаем электромеханические характеристики АД $I_1=f(\omega)$ при различных значениях частот обмоток статора.

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя I_0 реактивным ($I_{0A}=0$), ток статора I_1 через приведенный ток ротора I_2' можно найти по формуле

$$I_{1i} = \sqrt{I_0^2 + I_{2i}'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2i}'(s) \cdot \sin \varphi_{2i}(s)}, \quad (2.40)$$

$$\text{где } \varphi_{2i}(s) = a \sin \left[\frac{X_{\text{кн}} \cdot (f_{1i}^*)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot (f_{1i}^*)^2}} \right]. \quad (2.41)$$

Пример расчета для $S_j = 1$, $R_1 = 0,046 \text{ Ом}$, $f_{1*} = 1$:

$$\varphi(s) = a \sin \left(\frac{0,111 \cdot 1}{\sqrt{(0,00685 + 0,00675)^2 + 0,111^2 \cdot 1}} \right) = 0,027 \text{ рад},$$

$$I_1 = \sqrt{105,232^2 + 2337^2 + 2 \cdot 105,232 \cdot 2337 \cdot \sin(0,027)} = 2404 \text{ А}.$$

Электромеханические характеристики для тока статора приведены на рисунке 2.12.

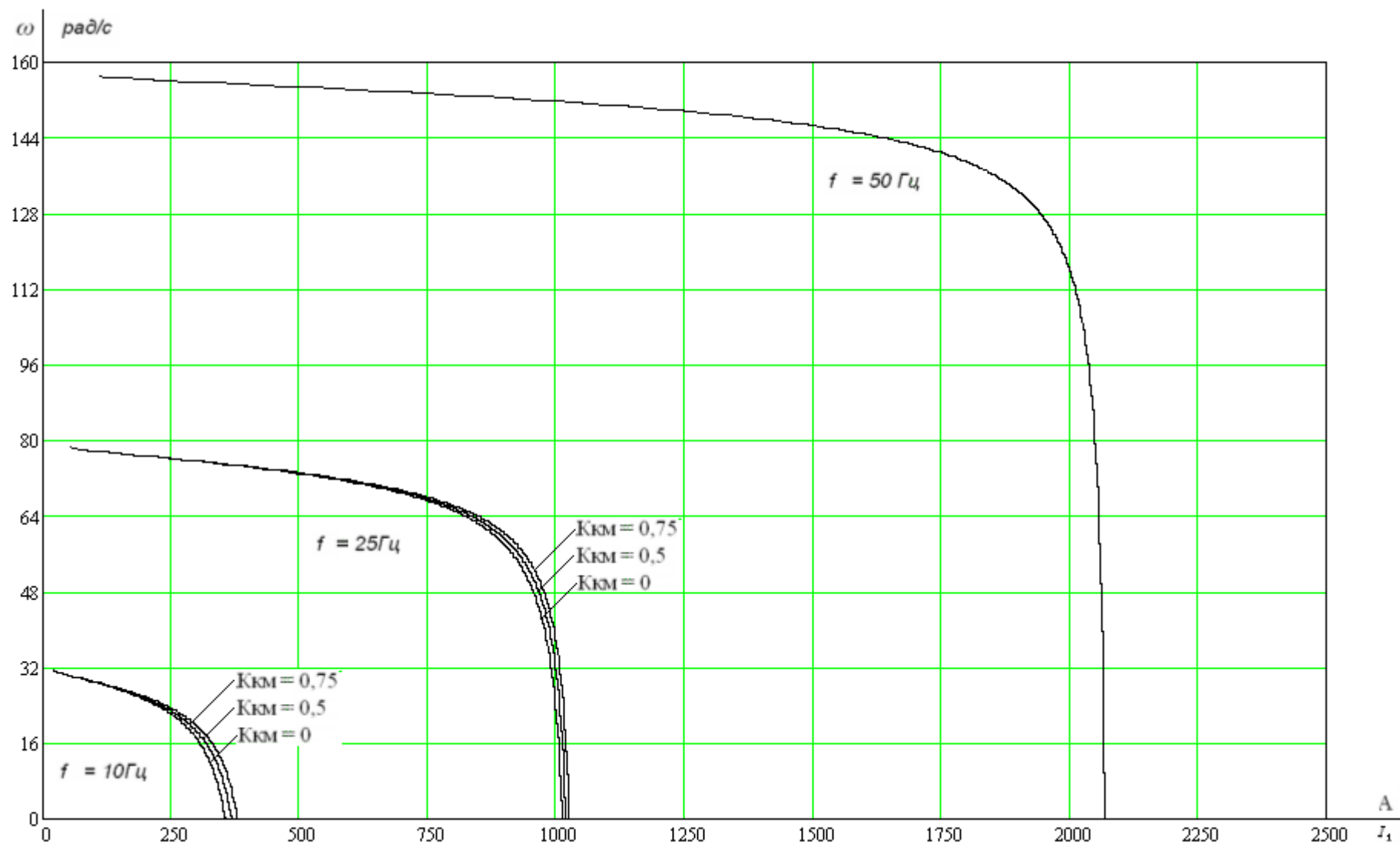


Рисунок 2.12 – Электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$

Выражение для расчета механических характеристик

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_1 \cdot R_2}{\omega_{0H} \cdot s \cdot \left[X_K^2 \cdot (f_1)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_\mu \cdot f_1} \right)^2 \right]} \quad (2.42)$$

Пример расчета критического скольжения и критического момента для

$$R_1 = 0,046 \text{ Ом}, f_{1*} = 1:$$

$$S_{кр} = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right) + 1}{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2 \cdot f_{1*}^2}} = 0,045 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{0,046^2}{0,975^2 \cdot 1^2} \right) + 1}{0,046^2 + 0,114^2 \cdot 1^2}} = 0,884.$$

$$M_{кр} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[R_1 + \sqrt{\left(R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2 \cdot f_{1*}^2 \right) \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right)} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,068 \cdot \left[0,046 + \sqrt{(0,046^2 + 0,114^2 \cdot 1^2) \cdot \left(1 + \frac{0,046^2}{0,975^2 \cdot 1^2} \right)} \right]} = 2353 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Механические характеристики изображены на рисунке 2.13.

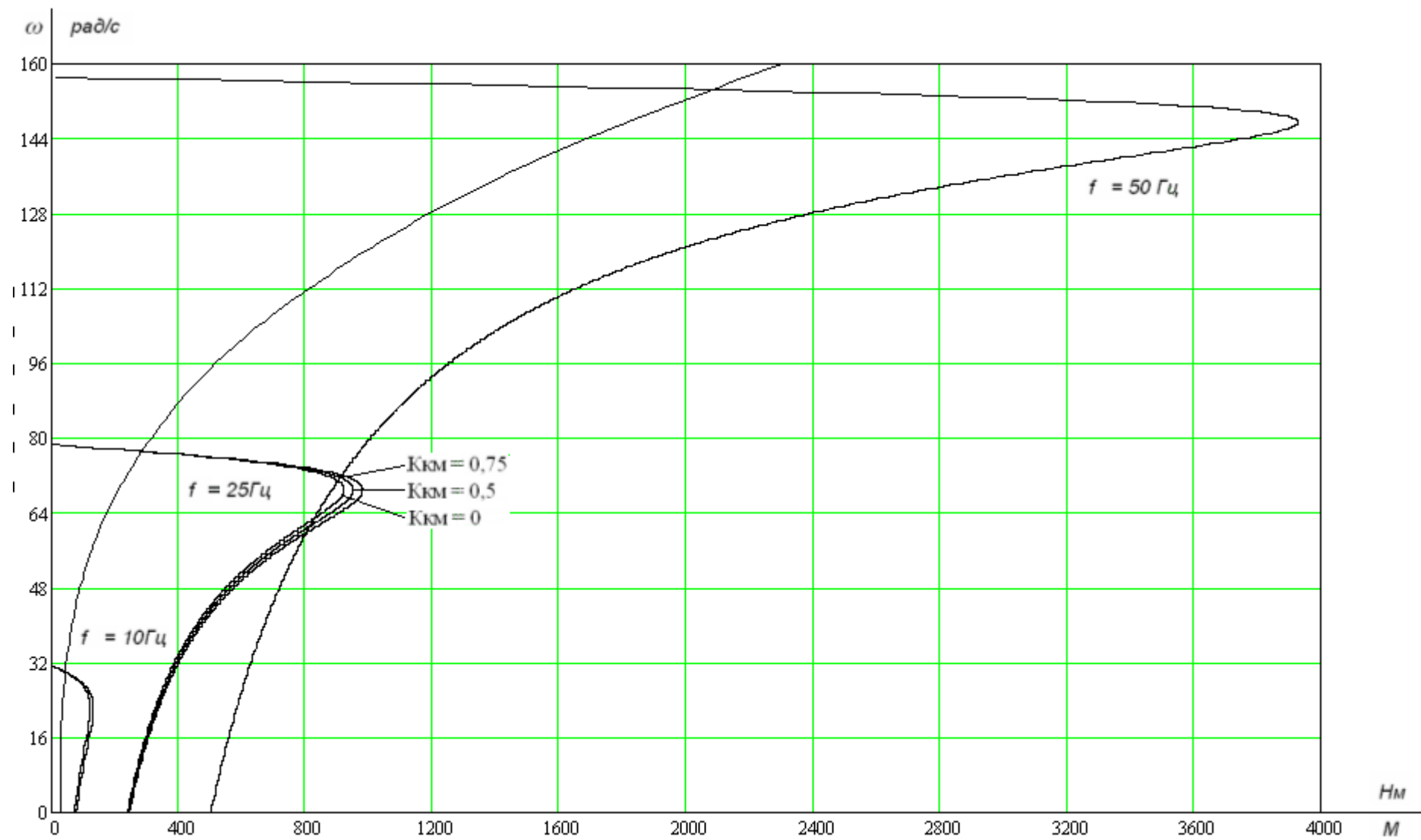


Рисунок 2.13 – Механические характеристики

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Функциональная схема электропривода представлена на рисунке 3.1.

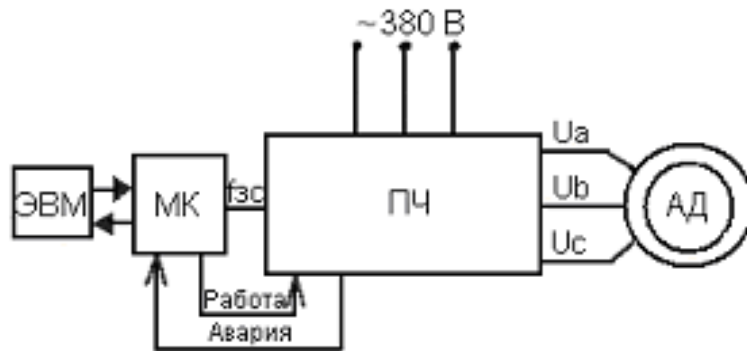


Рисунок 3.1 – Упрощенная функциональная схема электропривода
Асинхронный двигатель описывается системой математических
уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_{1X}}{d\tau} &= -\frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left(\Psi_{1X} - \frac{X_m}{X_2} \Psi_{2X} \right) + \nu_\kappa \cdot \Psi_{1Y} + U_{1X} \\ \frac{d\Psi_{1Y}}{d\tau} &= -\frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left(\Psi_{1Y} - \frac{X_m}{X_2} \Psi_{2Y} \right) + \nu_\kappa \cdot \Psi_{1X} + U_{1Y} \\ \frac{d\Psi_{2X}}{d\tau} &= -\frac{R_2}{X_2 \cdot \sigma} \left(\Psi_{2X} - \frac{X_m}{X_1} \Psi_{1X} \right) + (\nu_\kappa - \nu) \cdot \Psi_{2Y} \\ \frac{d\Psi_{2Y}}{d\tau} &= -\frac{R_2}{X_2 \cdot \sigma} \left(\Psi_{2Y} - \frac{X_m}{X_1} \Psi_{1Y} \right) + (\nu_\kappa - \nu) \cdot \Psi_{2X} \end{aligned} \right\}$$

По этим уравнениям была составлена структурная схема асинхронного двигателя представленная на рисунке 3.2.

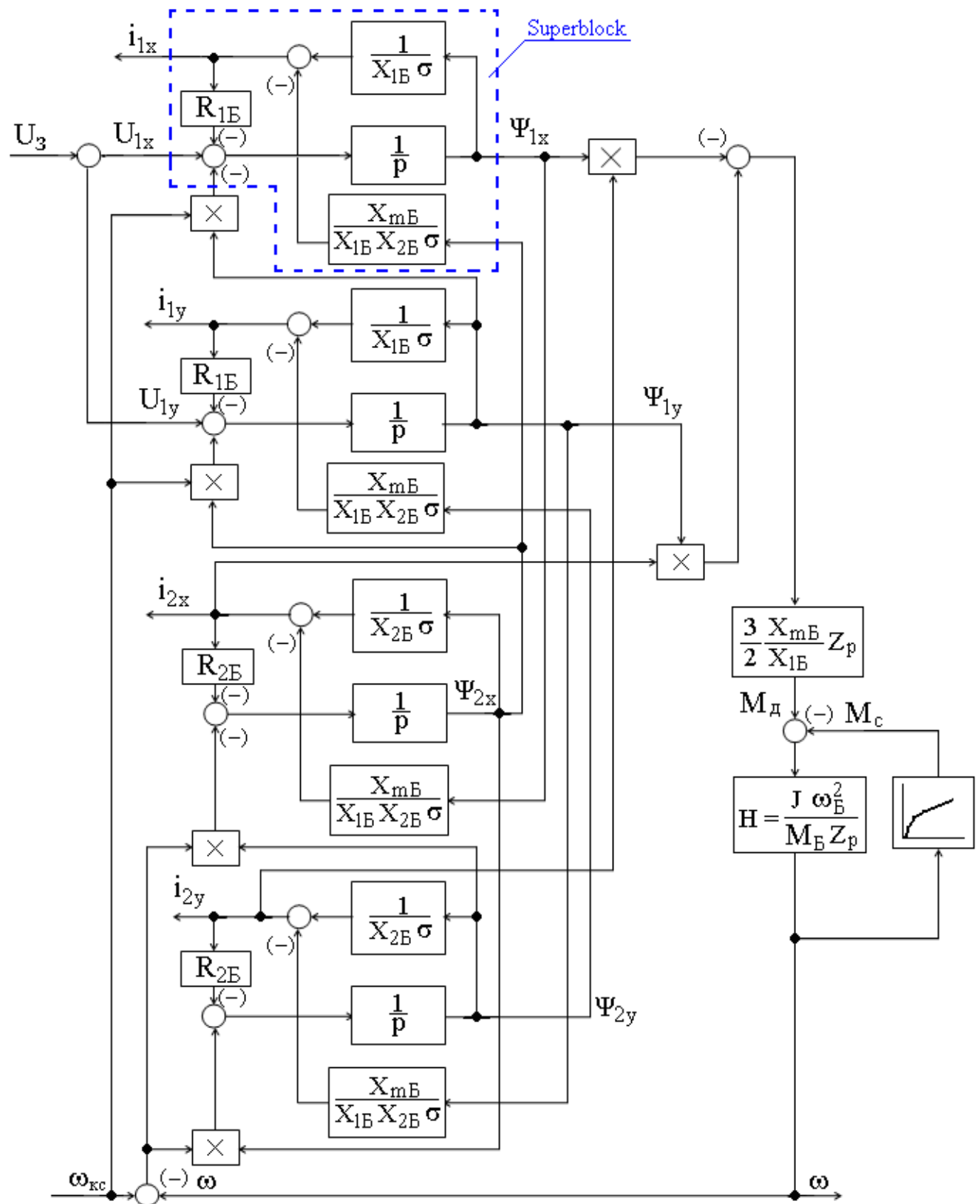


Рисунок 3.2 – Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

3.1. Расчет динамических характеристик асинхронного двигателя

Так как параметры схемы замещения асинхронного двигателя найдены с помощью методики, допускающей определенную погрешность, то для окончательной проверки правильности их нахождения, проверим асинхронный двигатель в динамике. Моделирование асинхронного двигателя будем производить в абсолютных единицах, так как современные программные средства для численных вычислений, расчетов и математического моделирования, например, MATLAB позволяют автоматически устанавливать масштаб моделирования независимо от мощности двигателя или его параметров.

Схема имитационной модели асинхронного двигателя в программной среде MATLAB-Simulink с демультиплексором вывода параметров приведена на рисунке 3.3.

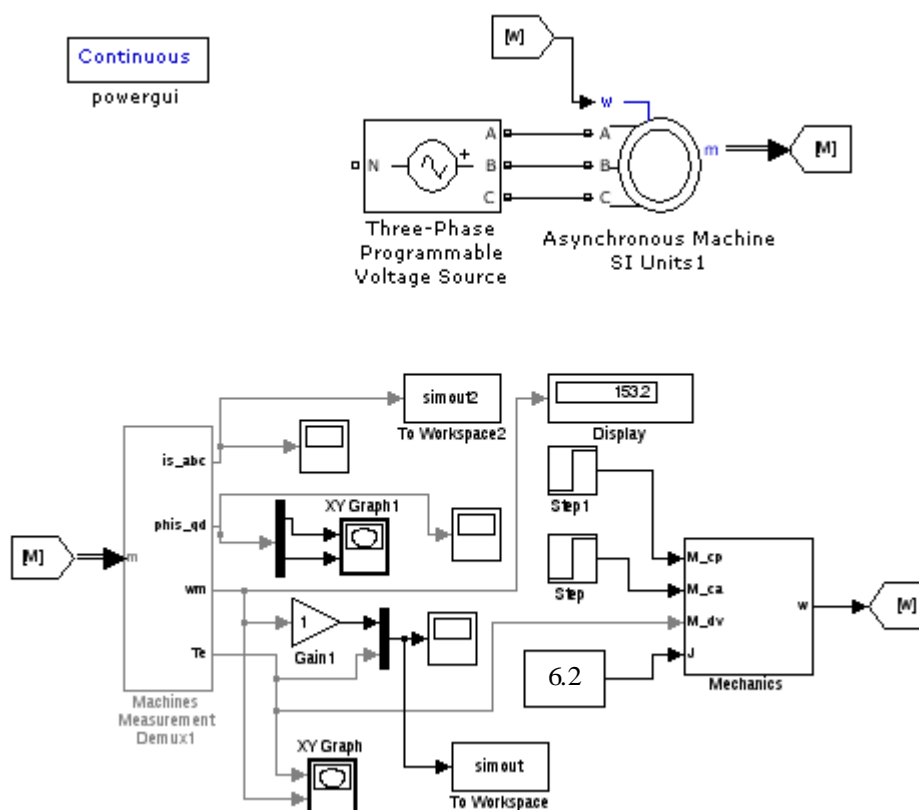


Рисунок 3.3. Схема имитационной модели асинхронного двигателя в программной среде MATLAB-Simulink с демультиплексором вывод параметров

Ввод параметров схемы замещения асинхронного двигателя произведен через диалоговое окно (рисунок 3.4), которое вызывается двойным щелчком по изображению двигателя.

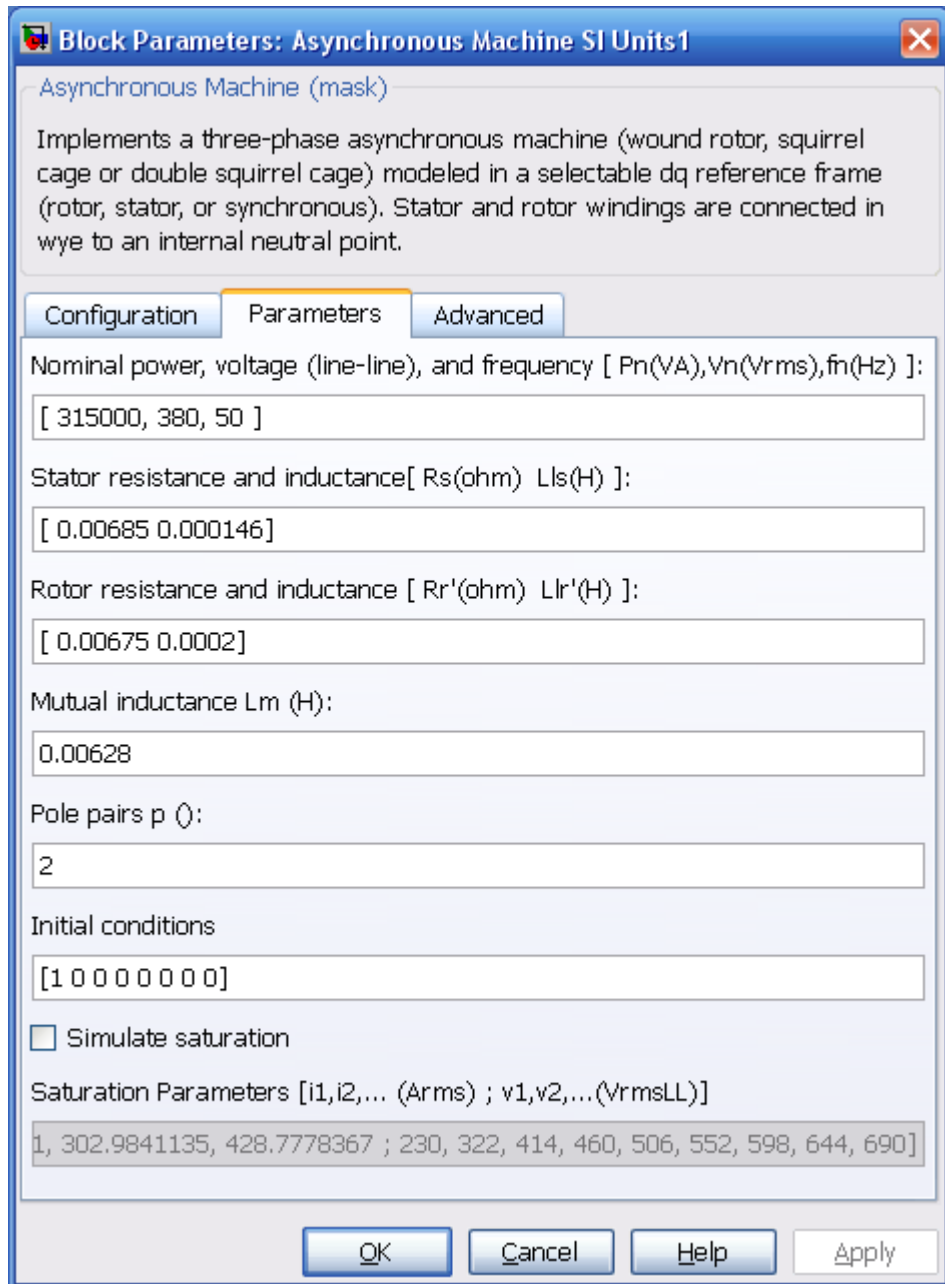


Рисунок 3.4. Окно ввода параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$ и момента $M = f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя прямым включением в сеть приведены на рисунке 3.5.

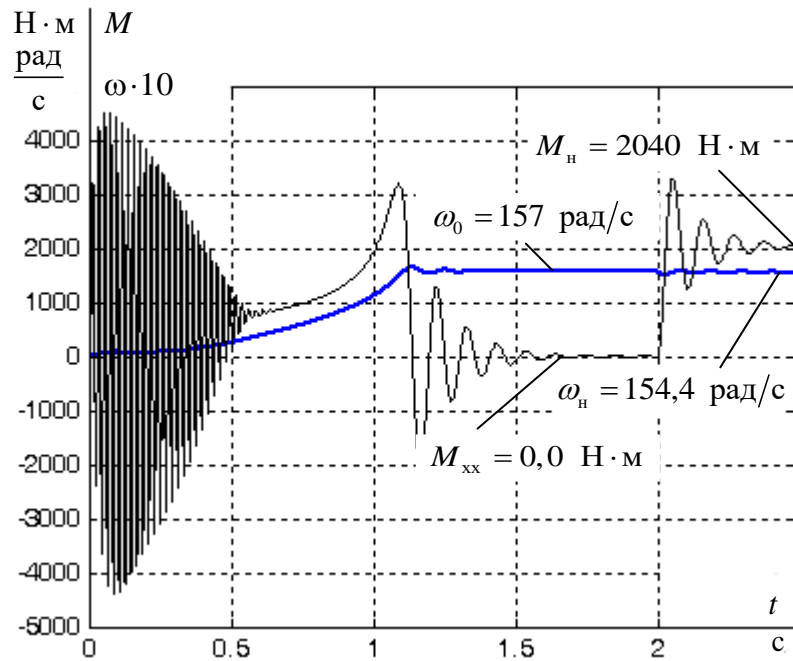


Рисунок 3.5. Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$ и момента $M = f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя прямым включением в сеть

Основные показатели качества для характеристики скорости:

перерегулирование – $\sigma = 3,4\%$,

время регулирования – $t_p = 1,2$ с,

установившееся значение скорости – $\omega_{уст} = 154,4$ рад/сек.

Анализ графиков показывает, что при отработке переходных процессов без нагрузки (режим идеального холостого хода) асинхронный двигатель разогнался до синхронной скорости $\omega_0 = 157,0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, его электромагнитный момент установился равным нулю.

В момент времени $t = 2$ с на валу двигателя произведен наброс нагрузки, равный номинальному моменту двигателя $M_c = 2040,0$ Н·м. При отработке возмущающего воздействия установившаяся скорость двигателя уменьшилась до номинальной скорости $\omega_n = 154,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, электромагнитный

момент в установившемся режиме стал равен статическому моменту на валу двигателя $M_c = 2040 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Анализ переходного момента асинхронного двигателя показывает, что максимальный ударный момент при пуске прямым включением в сеть составляет $4500 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и превышает номинальный момент $M_n = 2040 \text{ Н} \cdot \text{м}$ двигателя в 2,2 раза и может достигнуть недопустимо больших по механической прочности значений для механизма крутильной машины.

Графики переходных процессов тока статора $I_c = f(t)$, при пуске асинхронного двигателя без токоограничения приведены на рисунке 3.6.

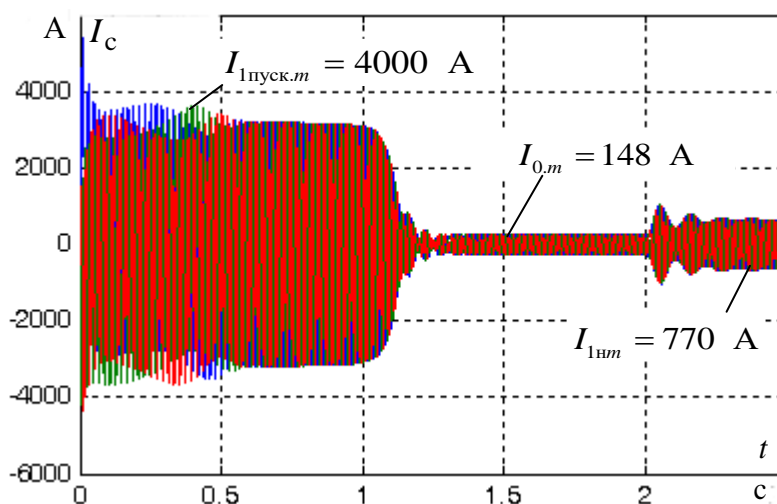


Рисунок 3.6. График переходных процессов тока статора $I_c = f(t)$

Пусковой ток асинхронного двигателя, найденный по результатам расчета переходных процессов, составляет:

$$I_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск.м}}}{\sqrt{2}} = \frac{4000}{\sqrt{2}} = 2837 \text{ А},$$

где $I_{\text{пуск.м}}$ – амплитудное значение пускового тока статора.

Максимальный ток, потребляемый двигателем при прямом пуске

$$I_n = k_{\tau} \cdot I_{1н} = 7 \cdot 548,9 = 3842 \text{ А},$$

где $k_{\tau} = \frac{I_n}{I_{1н}} = 7$ – перегрузочная способность асинхронного двигателя по току;

$I_{1н} = 548,9 \text{ А}$ – номинальный ток обмоток статора асинхронного двигателя.

Расхождения в определении пускового тока объясняются тем, что имитационная модель асинхронного двигателя не учитывается эффект вытеснения тока на поверхность проводников ротора и насыщение зубцов ротора возникающие при пуске.

Номинальный ток статора двигателя, найденный по результатам расчета переходных процессов:

$$I_{1н} = \frac{I_{1нм}}{\sqrt{2}} = \frac{770}{\sqrt{2}} = 546 \text{ А},$$

где $I_{1нм}$ – амплитудное значение номинального тока статора (рис. 20) незначительно отличается от номинального тока статора (548,9 А) паспортных данных двигателя.

Выводы.

- Анализ графиков переходных процессов тока, скорости и момента показал, что асинхронный электродвигатель с найденными параметрами схемы замещения является устойчивым звеном и эти параметры можно использовать в дальнейшем при исследовании и настройке систем регулирования с применением данного двигателя.

- Имитационная модель асинхронного двигателя, созданная в программной среде MATLAB адекватно отображает переходные режимы, в короткозамкнутом асинхронном двигателе и может быть использована при исследовании его динамических процессов.

3.2. Расчет динамических характеристик скалярной системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель

Для исследования качества переходных процессов пуска электропривода питателя сушильного барабана в системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель в программной среде MATLAB (Simulink) была составлена имитационная модель электропривода, схема силовых цепей которого приведена на рисунок 3.7.

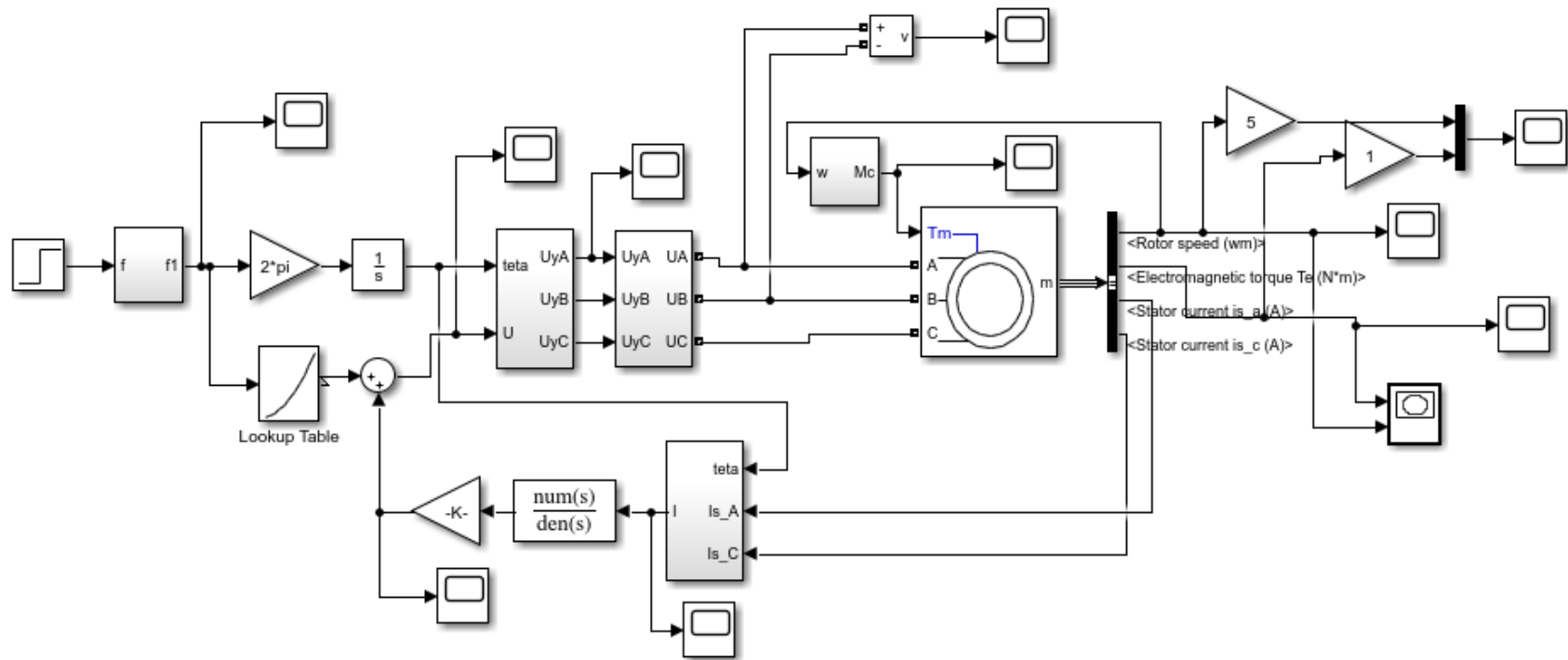


Рисунок 3.7. Имитационная модель электропривода со скалярным управлением $U/f^2 = \text{const}$.

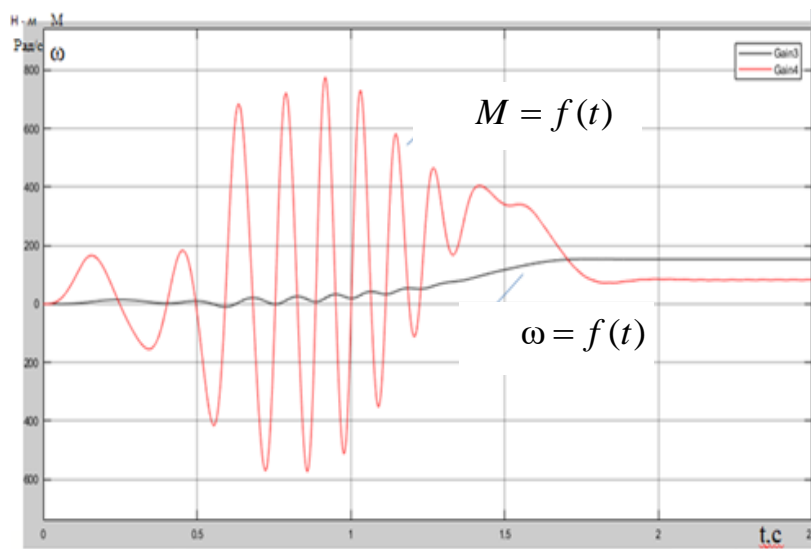


Рисунок 3.8. Графики переходных процессов момента $M = f(t)$ и скорости $\omega = f(t)$ при пуске асинхронного электропривода при выходной частоте преобразователя $f = 10$ Гц

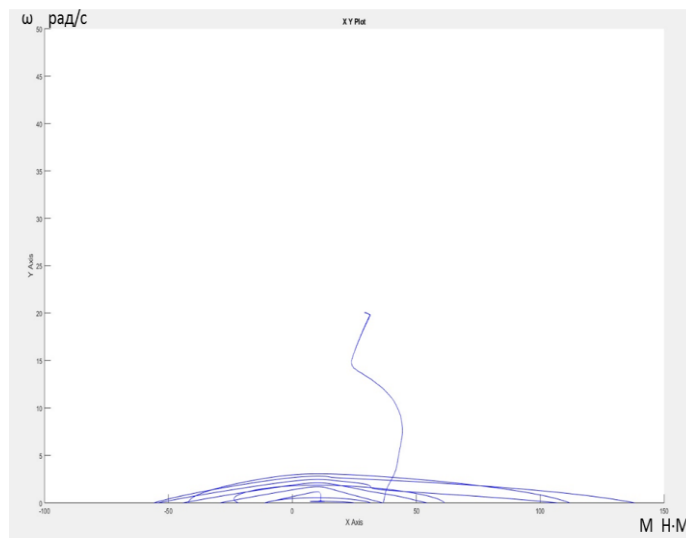


Рисунок. 3.9. Динамические механические характеристики при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при выходной частоте преобразователя $f = 10$ Гц

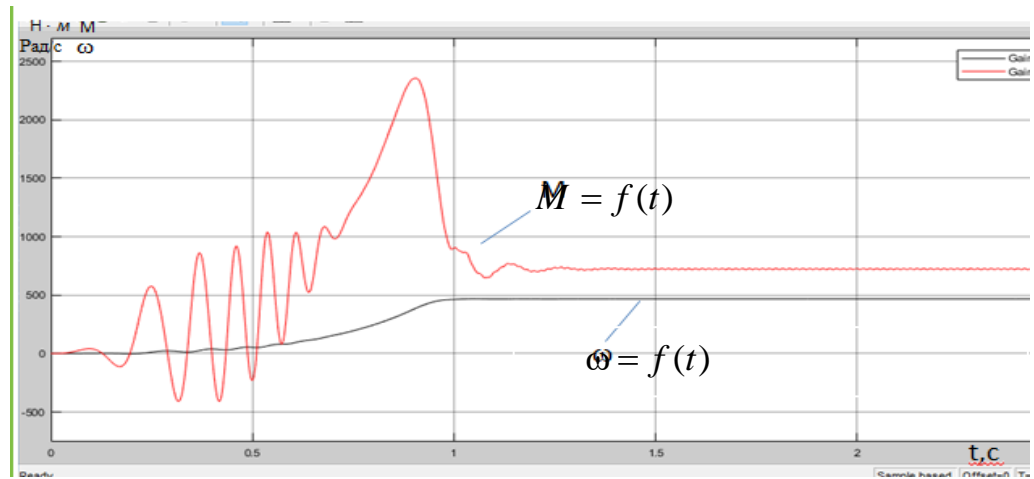


Рисунок. 3.10. Графики переходных процессов момента $M = f(t)$ и скорости $\omega = f(t)$ при пуске асинхронного электропривода при выходной частоте преобразователя $f = 30$ Гц

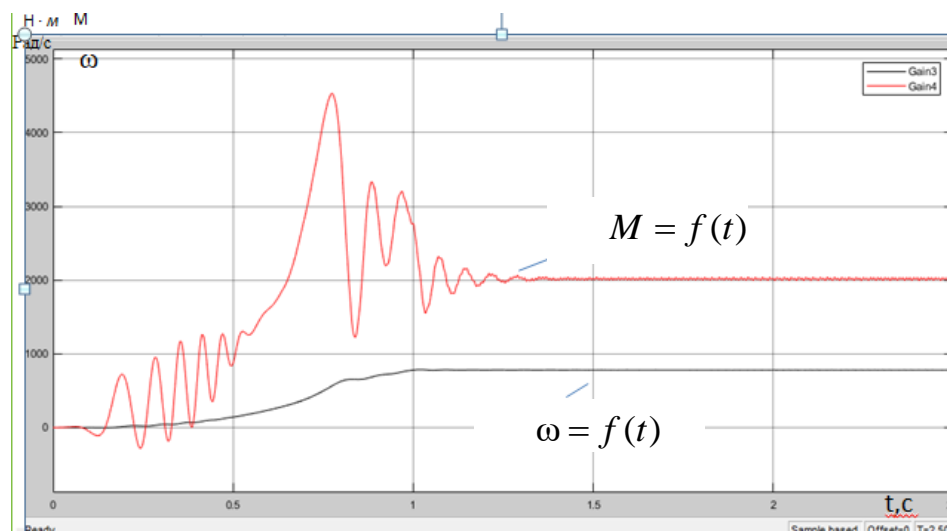


Рисунок. 3.11. Графики переходных процессов момента $M = f(t)$ и скорости $\omega = f(t)$ при пуске асинхронного электропривода при выходной частоте преобразователя $f = 50$ Гц

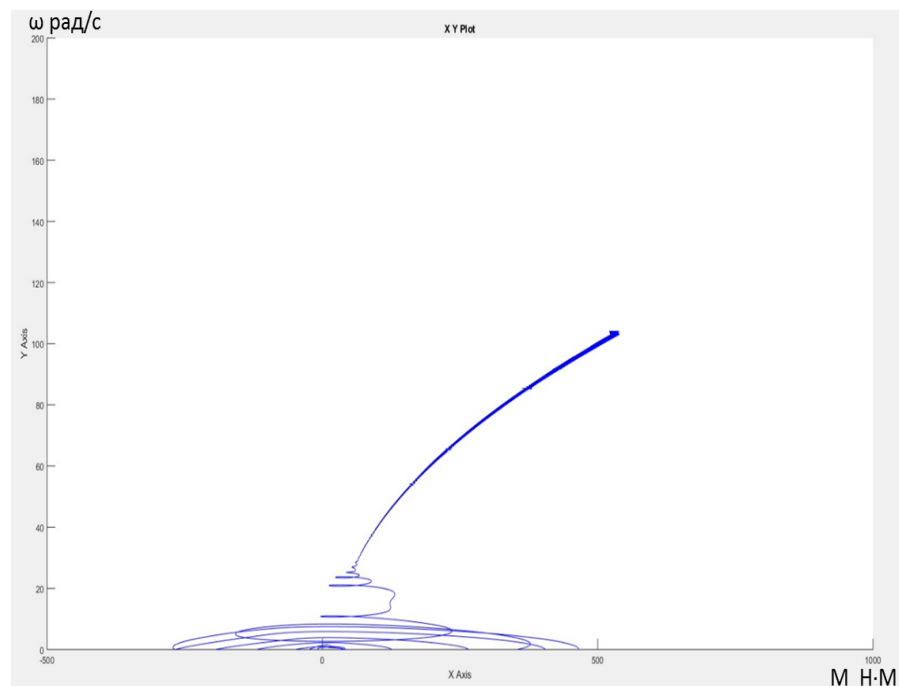


Рисунок 3.12. Динамические механические характеристики при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при выходной частоте преобразователя $f = 50$ Гц

Как следует из анализа графиков переходных процессов момента $M = f(t)$ и скорости $\omega = f(t)$ (рисунок 3.8, рисунок 3.10 и рисунок 3.11), электропривод обрабатывает задающие воздействия. Колебания электромагнитного момента M двигателя при его пуске от задатчика интенсивности значительно меньше, чем при пуске двигателя прямым включением в сеть. Максимальные значения момента при пуске с максимальной частотой $f = 50$ Гц и номинальной нагрузкой $M_{cl} = 2040$ Н·м в конце разгона электропривода насоса не превышают 4000 Н·м. Значительные колебания электромагнитного момента могут быть уменьшены правильным подбором постоянной времени $T_{км}$ и коэффициента передачи $k_{км}$ в цепи положительной обратной связи по току. Подбор параметров производится в следствии того, что их синтез в системах с положительной обратной связью должным образом до настоящего времени не разработан.

Так как нагрузка на валу двигателя реактивная, то двигатель начинает вращаться не в момент времени включения, а при достижении его электромаг

гнитного момента значения момента сопротивления, определяемого насосом. Асинхронный двигатель, некоторое время, находясь под током, неподвижен. Это приводит к его нежелательному дополнительному перегреву. Пуск с нулевой частотой приводит к задержке начала вращения двигателя на время до 0,2 с.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

1. Составление SWOT-анализа автоматизированной системы
2. Планирование научно-исследовательских работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

4.1 SWOT-анализ

SWOT - Strengths (сильные стороны), Weakness (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

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

Сильные стороны. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону проекта

1. Энергоэффективность;
2. Текущая доля на рынке;
3. Технический уровень производства;
4. Более низкая стоимость ЭЭ по сравнению с другими технологиями;
5. Хорошая инфраструктура.

Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

1. Потери ЭЭ в электрических сетях составляют 14 %;
2. Занимают большие территории;
3. Большие затраты на доставку сырья.

Возможности. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

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.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая энергоэффективность и экономичность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Повышение надежности технологии</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Сложность ремонта некоторых частей оборудования</p> <p>Сл2. Дороговизна оборудования</p> <p>Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования</p>
--	---	---

<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительной автоматизированной системы управления</p> <p>В2. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В4. Развитие технологий в данной отрасли</p>	<p>В1С1С2С3С4;</p> <p>В2С1С3С4;</p> <p>В3С3С4;</p> <p>В4С1С2С3С4;</p>	<p>В1Сл2;</p> <p>В2Сл1Сл2;</p> <p>В3Сл2;</p> <p>В4Сл2;</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологию</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p>У4. Угрозы выхода из строя оборудования</p>	<p>У1С1С3;</p> <p>У2С4;</p> <p>У3С4;</p> <p>У4С3</p>	<p>У1Сл2;</p> <p>У2Сл1Сл2;</p> <p>У3Сл2;</p> <p>У4Сл1Сл2Сл3;</p>

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие;

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица возможностей.

Возможности	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	-	+	+
	B3	-	+	+	+
	B4	+	+	+	+
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	
	B1	-	+	-	
	B2	+	+	-	
	B3	-	+	-	
	B4	-	+	-	

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	У1	+	-	+	-
	У2	-	-	-	+
	У3	-	-	-	+
	У4	-	-	+	-
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	-
	У2	+	+	-	-
	У3	-	+	-	-
	У4	+	+	+	-

В результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. Данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как внедрение продукта на мировой уровень, в различные технологические процессы, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и надежности. Так же установлен недостаток - отсутствие спроса на технологии производства, который может повлиять на дальнейшее использование продукта.

Подробная оценка конкурентоспособности разработки будет представлена в разделе Анализ конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

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.

В данном разделе составляется перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования автоматизированной системы дозирования и смешивания комбикорма, провести распределение исполнителей, в состав которых входят руководитель и студент по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Научный руководитель
	3	Выбор направления оптимизационной задачи	студент
	4	Календарное планирование работ	руководитель
Теоретические исследования	5	Выбор элементов автоматизированной системы	студент
	6	Расчет параметров схемы замещения АД	студент
	7	Выбор структуры и расчет параметров регуляторов автоматизированной системы	студент
	8	Имитационное моделирование автоматизированной системы	Студент и руководитель
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Студент и научным руководителем
Разработка технической документации	10	Оценка надежности полученных результатов	Научный руководитель
	11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Научный руководитель
Оформление отчета	12	Составление пояснительной записки	студент
	13	Проверка работы	руководитель

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:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad 1)$$

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

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

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

Рассчитаем ожидаемое значение трудоёмкости для различных этапов:

$$t_{ож_1} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_2} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож_3} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_4} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож_5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 6,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_6} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож_7} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_8} = \frac{3 \cdot 15 + 2 \cdot 20}{5} = 17 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож_9} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_{10}} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож_{11}} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 4}{5} = 3,4 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_{12}} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = 5,8 \text{ чел.} - \text{дн};$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующей формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (2)$$

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

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

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

При проектировании и разработки моделей все действия выполняются последовательно, соответственно продолжительность каждой работы будет равна $T_{pi} = t_{ожi}$.

4.3 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:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал};$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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

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

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

Определим коэффициент календарности на 2018 год:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 126} = 1,527.$$

Тогда длительность четвертой работы в календарных днях:

$$T_{\text{к4}} = T_{\text{р4}} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,527 = 2,138 \approx 2 \text{ дн.}$$

Все рассчитанные значения сводим в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ (чел-дни)			Длительность работ в рабочих днях $T_{\text{рi}}$	Ошибка! работ в календарных днях $T_{\text{кi}}$
	t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$		
Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	3	5	3,8	3,8	6
Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	5	8	6,2	6,2	10
Выбор направления оптимизационной задачи	2	3	2,4	2,4	4
Календарное планирование работ	1	2	1,4	1,4	2
Разработка вариантов проектирования	6	8	6,8	6,8	10
Выбор программного обеспечения для расчетов	2	3	2,4	2,4	4
Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	3	5	3,8	3,8	6

Расчет основных и аварийных принципов функционирования	15	20	17	17	26
Оценка эффективности полученных результатов	5	8	6,2	6,2	10
Оценка надежности полученных результатов	5	8	6,2	6,2	10
Вопросы безопасности и экологичности проекта	3	4	3,4	3,4	5
Составление пояснительной записки по проекту	5	7	5,8	5,8	9
<i>Итого</i>	55	81	65,4	65,4	102

Таблица 4.6 – Календарный план-график проведения исследований

М	Вид работы	Исполнитель	Тк i (кал · дн .)	Продолжительность выполнения работ											
				Февраль		Март			Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	Руководитель	6	■											
2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Руководитель	10	■	■										
3	Выбор направления оптимизационной задачи	студент	4		■										
4	Календарное планирование работ	Руководитель	2			■									
5	Разработка вариантов проектирования	студент	10			■	■								
6	Выбор программного обеспечения для расчетов	студент	4				■								
7	Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	студент	6				■	■							
8	Расчет основных и аварийных принципов функционирования	студент	26					■	■	■	■				
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	10								■	■			
10	Оценка надежности полученных результатов	Руководитель	10										■	■	
11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	студент	5											■	■
12	Составление пояснительной записки по проекту	студент	9												■

При планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей (научного руководителя, дипломника), составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет более качественно оценить и спланировать время работы исполнителей проекта.

Согласно составленному календарному плану с учетом вероятностного характера выполнения работ (благоприятный, неблагоприятный) продолжительность проектирования составляет 10 полных декад, начиная со первой декады февраля, заканчивая третьей декадой мая.

Далее, по диаграмме Ганта можно наглядно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя. Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 102 дня, из которых 64 дней – продолжительность выполнения работ инженером, а 38 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

4.4 Модернизация багерного насоса

В этом разделе определена стоимость установки нового оборудования для модернизации технологического процесса перекачивания золошлаковой пульпы от котлов к золоотвалу и некоторые показатели эффективности.

На модернизацию насосной станции было потрачено **1672** тыс. руб, в таблице 4.7 приведены цены на некоторое технологическое и вспомогательное оборудование.

Таблица 4.7 – Оборудование насосной станции

№	Наименование	Стоимость, руб
1	Преобразователь Danfoss VLT6400	800000
2	Двигатель 6A355M4	123000
3	Насос тип NB-250	620000
4	Ультразвуковой уровнемер	34000
5	Счётчик расходомер	37000
6	Микроконтроллер	51000
7	Модуль PROFibus	5000
8	Комплекующие	2000
ИТОГО		1672000

Ликвидационная стоимость старого оборудования составила 200 тыс. руб., старые электродвигатели, насосы, запорная арматура, трубопроводная арматура были реализованы как лом и как запасные ремонтные детали.

Согласно паспортным данным срок эффективного использования нового оборудования составляет 6 лет, соответственно затраты на амортизацию должны распределить поровну на все 6 лет. Ежегодная величина амортизации составила 278,7 тыс. руб.

Ликвидационная стоимость нового оборудования приблизительно составит 200 тыс. руб.

Монтажные работы являются важнейшим звеном подготовки оборудования, обеспечивающим ввод в эксплуатацию электротехнического оборудования. Эти работы выполняются высококвалифицированными специалистами и рабочими по заранее разработанным и согласованным программам.

Исходя из выше перечисленного, в состав бригады входят:

- а) старший инженер-наладчик 6 разряда (бригадир);
- б) инженер-наладчик 6 разряда (наладчик);
- в) инженер-наладчик 5 разряда (электромонтер).

В состав затрат на монтаж нового оборудования включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание монтажных работ.

В смету затрат на выполнение монтажных работ входят следующие элементы затрат:

- 1 Материальные затраты;
- 2 Заработная плата;
- 3 Отчисления на социальные выплаты;
- 4 Накладные расходы.

1 Материальные затраты

Для модернизации багерного насоса необходимо:

- Преобразователь Danfoss VLT6400;
- Двигатель 6A355M4;
- Насос тип NB-250;
- Ультразвуковой уровнемер;
- Счётчик расходомер;
- Микроконтроллер;
- Модуль PROFibus;

и комплектующие.

Под комплектующими подразумеваются: болты, винты, гайки, шайба, пружины, различные разъемы, вилки, розетки, зажимы, соединительные кабели и провода, пульта и кнопки управления.

Данные компоненты покупаются, их стоимость приведена в таблице
Ошибка! Источник ссылки не найден..

4.5 Затраты на оплату труда

Заработная плата работникам бригады выплачивается по аккордной системе. Принцип распределения в зависимости от количества и качества труда предполагает увязку системы заработной платы не только с качеством труда, но и с его количеством, т.е. производительностью труда. Мерой количества труда является отработанное рабочим время. Установленные для отдельных

категорий работников формы и системы оплаты труда должны материально заинтересовать их в повышении количественных и качественных показателей работы.

Правильный выбор форм и систем оплаты труда является важным экономическим фактором стимулирования эффективности работы коллектива.

Для бригады наиболее эффективной является аккордная система оплаты труда. Эта система представляет собой разновидность сдельной системы, при которой сдельная расценка (сумма аккордного наряда) устанавливается на значительный объем работ без установления норм и расценок на отдельные ее элементы. При этом определяется срок окончания всей работы. Расчет с рабочими по аккордной системе производится после выполнения всего объема работ. Если выполнение аккордного задания требует значительного времени, то по аккордным нарядам выплачивается аванс за текущий месяц с учетом выполненного объема работ, а окончательный расчет производится после завершения всей работы.

Аккордная система является бригадной, и аккордный заработок распределяется между членами бригады. Аккордная система может сочетаться с выплатой премий за улучшение качества работы и сокращения сроков ее выполнения.

Исходя из того, что в среднем инженер-наладчик 5-го -6- го разряда в месяц получает 15 тыс. руб., а по плану длительность проведения монтажных работ составляет 51 час, из них бригадир проработал 45 часов, наладчик 40 часов, электрик 26 часов. Учитывая, что в месяц рабочих часов 208 (26 рабочих дней), то бригадир должен получить 3300 рублей, наладчик 3000 рублей, электрик 2000 рублей. Отсюда видно, что целесообразно выделить бригаде, состоящей из трех человек, на оплату труда, для проведения монтажных работ, сумму в 8300 руб.

4.6 Отчисления на социальные выплаты

При заключении трудового договора и начислении заработной платы предприятие должно заплатить единый социальный налог, отчисления на ЕСН

составляет 26 % от начисленной зарплаты, а также отчисления в фонд страхования от несчастных случаев, которые составляют 0,2 %.

Отчисления на социальные выплаты

$$Отч = \sum Z_{np} \cdot 26,2\% = 8300 \cdot 0,262 = 2174,6 \text{ руб/мес.}$$

4.7 Накладные расходы

Накладные расходы – это расходы, связанные с производством, управлением и хозяйственным обслуживанием, при расчете сметы данные расходы принимаем равными 20 % от заработной платы, осуществляющих монтажные работы.

$$НР = \sum Z_{np} \cdot 20\% = 8300 \cdot 0,2 = 1660 \text{ руб/мес.}$$

Суммарные затраты на проведение монтажных работ сведены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Суммарные затраты на проведение монтажных работ и оборудования

№	Статья затрат	Сумма, руб.
1	Оборудование	1672000
2	Заработная плата	8300
3	Отчисления на социальные цели	2174,6
4	Накладные расходы	1660
5	Итого себестоимость монтажных работ	1684134,6

Работы проводились собственными силами, поэтому в расчетах не учитывались плановые накопления и НДС.

4.8 Расчет эксплуатационных затрат

Затраты на технологическую энергию

Вследствие полной автоматизации технологического процесса снизились годовые затраты на потребление электроэнергии электроприводом. Сейчас они составляют приблизительно 1474500 кВт, в то время как до модернизации составляли 1990500 кВт.

$$Z_{\text{эн до модерн.}} = Э \cdot Ц_{\text{эл}} = 1990500 \cdot 2,5 = 4976300 \text{ руб./год};$$

$$Z_{\text{эн после модерн.}} = Э \cdot Ц_{\text{эл}} = 1474500 \cdot 2,5 = 3686250 \text{ руб./год},$$

где $Ц_{\text{эл}}=2,5$ руб./кВт·ч – цена за электроэнергию.

Затраты на заработную плату обслуживающего персонала

При обслуживании багерной насосной персонал имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент).

Расчет затрат на заработную плату обслуживающему персоналу до модернизации багерного насоса

Дневная заработная плата

$$З = \frac{З_M \cdot K_{II}}{F_D} = \frac{10000 \cdot 1,3}{26} = 500 \text{ руб/день},$$

где $З_M$ – заработная плата в месяц,

$K_{II} = 1,3$ – коэффициент, учитывающий выплату премии и доплат,

$F_D = 26$ – количество рабочих дней в месяц.

Основная заработная плата

$$З_{осн} = З \cdot \tau_p = 500 \cdot 26 = 13000 \text{ руб/мес},$$

где $\tau_p = 26$ дней – период рабочего времени.

Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot 0,15 = 19500 \cdot 0,15 = 2925 \text{ руб/мес}.$$

$$З_{пр} = З_{осн} + З_{доп} = 13000 + 2925 = 15925 \text{ руб/мес}.$$

Учитывая, что до модернизации багерную насосную обслуживала бригада, состоящая из 4 человек, тогда сумма затрат на заработную плату

$$С_з = З_{пр} \cdot 4 = 15925 \cdot 4 = 63700 \text{ руб/мес}.$$

Отчисления на социальные выплаты

Единый социальный налог включает в себя все отчисления на социальные выплаты – это налоги, которые при начислении заработной платы предприятие должно заплатить в следующие фонды: пенсионный, социального страхования, федеральный и территориальный фонды ОМС. ЕСН составляет 26 % от начисленной зарплаты, 0,2 % – отчисления на страхование от несчастных случаев на производстве.

$$Отч = С_з \cdot 26,2\% = 63700 \cdot 0,262 = 16689,4 \text{ руб/мес}.$$

Расчет затрат на заработную плату обслуживающему персоналу после модернизации багерного насоса

Дневная заработная плата

$$З = \frac{З_М \cdot K_{П}}{F_{Д}} = \frac{10000 \cdot 1,3}{26} = 500 \text{ руб/день},$$

где $З_М$ – заработная плата в месяц,

$K_{П} = 1,3$ – коэффициент, учитывающий выплату премии и доплат,

$F_{Д} = 26$ – количество рабочих дней в месяц.

Основная заработная плата

$$З_{осн} = З \cdot \tau_p = 500 \cdot 26 = 13000 \text{ руб/мес},$$

где $\tau_p = 26$ дней – период рабочего времени.

Дополнительная заработная плата

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot 0,15 = 19500 \cdot 0,15 = 2925 \text{ руб/мес}.$$

$$З_{пр} = З_{осн} + З_{доп} = 13000 + 2925 = 15925 \text{ руб/мес}.$$

После модернизации численность обслуживающего персонала сократилась вдвое и теперь составляет 2 человека.

$$С_з = З_{пр} \cdot 2 = 15925 \cdot 2 = 31850 \text{ руб/мес}.$$

Отчисления на социальные выплаты

$$Отч = С_з \cdot 26,2\% = 31850 \cdot 0,262 = 8344,7 \text{ руб/мес}.$$

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

В расходы на содержание и эксплуатацию оборудования входят затраты на смазочные материалы, запасные детали.

$$РСЭО_{дпт} = 10\% \cdot Ц_i = 10\% \cdot 315000 = 31500 \text{ руб/год};$$

$$РСЭО_{ад} = 5\% \cdot Ц_i = 5\% \cdot 123000 = 6150 \text{ руб/год},$$

где $Ц_i$ – стоимость двигателя.

Суммарные эксплуатационные затраты

$$Z_{\Sigma \text{ до модерн.}} = Z_{\text{эн до модерн.}} + C_3 + \text{Отч} + PCЭO_{\text{ДПП}} = 4976300 + 764400 + 200272,8 + 31500 = 5972472,8 \text{ руб / год}$$

$$Z_{\Sigma \text{ после модерн.}} = Z_{\text{эн после модерн.}} + C_3 + \text{Отч} + PCЭO_{\text{Ад}} = 4436250 + 382200 + 100136,4 + 6150 = 4924736,4 \text{ руб / год.}$$

Из расчетов видно, что суммарные расходы за год на содержание багерной насосной до модернизации, значительно превышают расходы на содержание после модернизации. Отсюда можно сделать вывод о гораздо большей эффективности использования электропривода переменного тока.

4.9 Определение технико-экономических показателей

Срок окупаемости ($T_{\text{окуп}}$) представляет собой период, за который вложенные средства окупятся доходами, полученными от реализации проекта.

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{\text{ДП}}$$

где ДП – денежные поступления;

$$H_{\text{пр}} = \text{ДП} \cdot \tau$$
 налог на прибыль, руб/год;

$\tau = 24\%$ – ставка налога на прибыль;

$$H_{\text{пр}} = 1047736,4 \cdot \frac{24}{100} = 251456,7 \text{ руб / год.}$$

Амортизационные отчисления

$$A = \frac{a \cdot K_{\text{об}}}{100}$$

где $a = 16,7 \%$ /год. – норма амортизации;

$$A = \frac{16,7 \cdot 1684134,6}{100} = 281250,5 \text{ руб / год.}$$

$$\text{ДП} = \text{Э} - H_{\text{пр}} + A = 1047736,4 - 251456,7 + 281250,5 = 1077530,2 \text{ руб / год.}$$

Тогда

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{\text{ДП}} = \frac{1684134,6}{1077530,2} = 1,6 \text{ года}$$

Согласно паспортным данным срок эффективного использования нового оборудования составляет 6 лет. Расчет показывает, что срок окупаемости приемлем.

Произведем расчет чистого дисконтированного дохода (NPV), индекса доходности затрат (PI) и дисконтированного срока окупаемости (PP).

Чистый дисконтированный доход (NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{P_t}{(1+d)^t} - K$$

Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение неравенства $NPV > 0$.

P_t – поступления денежных средств за расчетный год. В нашем случае:

$$P_t = ДП = 1077530.2 \text{ руб / год.}$$

Так как капитальные вложения предусматриваются в первый год (год непосредственно установки нового оборудования) то есть осуществляемые инвестиции носят одномоментный характер, то получаем:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{P_t}{(1+d)^t} - K \quad (4.9)$$

P_t – денежные поступления;

d – ставка дисконтирования;

K – разовые инвестиции;

Пусть $d = 0.15$ – норма дисконта. Тогда:

$$NPV = \sum_{t=1}^6 \frac{ДП}{(1+d)^t} - K = \frac{1077530.2}{(1+0.15)} + \frac{1077530.2}{(1+0.15)^2} + \frac{1077530.2}{(1+0.15)^3} - 1684134.6 = 776109.4 \text{ руб.}$$

Так как $NPV > 0$, то при данной ставке дисконтирования проект является прибыльным.

Индекс доходности затрат (PI)

Индекс доходности (рентабельности) показывает, сколько приходится денежных поступлений на рубль инвестиций

Если $PI > 1$, то проект является выгодным.

$$PI = \frac{\sum_t \frac{\Pi_t}{(1+d)^t}}{\sum_t \frac{K_t}{(1+d)^t}}; \quad (4.10)$$

$$PI = \frac{\sum_t \frac{ДП}{(1+d)^t}}{K} = \frac{\frac{1077530.2}{(1+0.15)} + \frac{1077530.2}{(1+0.15)^2} + \frac{1077530.2}{(1+0.15)^3}}{1684134.6} = 1.461$$

Получившееся значение $PI > 1$, а значит, при данной ставке дисконтирования проект является прибыльным.

Дисконтированный срок окупаемости (PP)

При определении дисконтированного срока окупаемости, используется формула:

$$PP = \frac{\log(d \frac{K}{ДП})}{\log(d)}; \quad (4.11)$$

где K – одновременные инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

$ДП$ – денежные поступления;

d – ставка дисконтирования.

$$PP = \frac{\log(1 - 0,15 \cdot \frac{1684134,6}{1077530,2})}{\log(1 + 0,15)} = 1,9 \text{ года.}$$

Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод о том, что данный проект по модернизации системы перекачивания золошлаковой пульпы от котлов к золоотвалу является экономически привлекательным. Сумма всех капитальных затрат проекта составляет 1684134.6 руб., стоимость сэкономленной электроэнергии и экономии на обслуживании за год равна 1047736.4 руб. Срок окупаемости проекта составляет 1.6 года, в то время как дисконтированный срок окупаемости равен 1.9 года. Рассматривая получившиеся значения таких показателей как чистый дисконтированный доход (NPV), индекс доходности затрат (PI), можно заключить, что проект является экономически выгодным и привлекательным.

5. Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является проведение анализа вредных и опасных факторов труда диспетчера, разработка мер защиты от них, оценка условий труда, производственной санитарии. В разделе также рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

5.1 Комплексный анализ опасных и вредных факторов труда

В процессе работы человек вступает во взаимодействие с предметами труда, орудиями труда, другими людьми. Также на него воздействуют параметры окружающей среды рабочей обстановки. От условий труда зависит отношение человека к труду и, естественно, результаты труда. При плохих условиях труда резко снижается работоспособность, соответственно повышается процент профессиональных заболеваний и травм. Под условиями труда подразумевается совокупность факторов производственной среды, оказывающих влияние на здоровье и производительность труда человека в процессе труда.

Рабочее помещение должно соответствовать количеству работающих и размещенному в них комплексу технических средств. Общие рабочие компоненты должны иметь естественное освещение, в сочетании с искусственным освещением в темное время суток. Окраска помещений существенно влияет на нервную систему человека, его настроение. Поэтому необходимо окрашивать в соответствии с цветом технических средств. Кроме этого выбор цвета определяется освещенностью помещения, чем выше отражение света стенами и оборудованием, тем выше освещенность.

К группе опасных факторов производства относятся: поражение электрическим током, статическое электричество.

К группе вредных факторов относятся:

- 1 Отклонение параметров микроклимата;
- 2 Недостаточная освещенность;
- 3 Шум;
- 4 Электромагнитное поле.

5.2 Производственная санитария

Рабочее место – это зона приложения труда определенного работника или группы работников. При организации рабочего места необходимо учитывать требования безопасности, промышленной санитарии, эргономики, технической эстетики. Невыполнение этих требований может привести к получению работником производственной травмы. При планировании промышленных помещений необходимо соблюдать нормы полезной площади для работающих и объем промышленного помещения.

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, так же как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

Основные требования, которые предъявляются к освещению, заключаются в том, чтобы с его помощью создать наиболее благоприятные условия для работы зрительного аппарата человека. Кроме того, оно должно удовлетворять вопросам экономичности, надежности и безопасности.

В помещении диспетчера используется комбинированное освещение – искусственное и естественное. Для обеспечения требуемого освещения произведем расчет искусственной освещенности.

Искусственное освещение устраивается во всех основных и вспомогательных помещениях производственных зданий.

Размеры помещения составляют:

высота – $H=3$ м;

длина – $A=10$ м;

ширина – $B=5$ м.

Объем комнаты

$$P_{\text{комн}}=A \cdot B \cdot H=3 \cdot 10 \cdot 5=150 \text{ м}^3.$$

Принимаем для искусственного освещения люминесцентные лампы ШОД-2-80 мощностью по 80 Вт.

Величина светового потока лампы

$$F = \frac{E \cdot \kappa \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta},$$

где F – световой поток каждой из ламп, лм. Для люминесцентных ламп 220 В и 80 Вт – $F=3800$ лм;

E – минимальная освещенность, лк. Для разряда зрительной работы 3а при общем освещении $E=400$ лк;

κ – коэффициент запаса. Для помещений с малым выделением пыли при использовании ламп накаливания $\kappa=1,3$;

S – площадь помещения $S=10 \cdot 5=50 \text{ м}^2$;

n – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока (в долях единицы);

Z – коэффициент неравномерности освещения.

Коэффициент использования светового потока – это отношение полезного светового потока, достигающего освещаемой поверхности, к полному световому потоку в помещении. Для определения коэффициента использования необходимо знать индекс помещения i , значения коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка ρ_n и тип светильника.

Коэффициент отражения стен $\rho_c=50$ % для свежепобеленных стен с окнами без штор.

Коэффициент отражения потолка $\rho_n=70$ % для побеленного потолка.

Индекс помещения

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{50}{2 \cdot (10+5)} = 1,66,$$

где S – площадь помещения, m^2 ;

h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, m . Для шара молочного стекла при лампе в прозрачной колбе $h=2$ m для ламп до 200 $Вт$ включительно;

A, B – стороны помещения: $A=10$ $m, B=5$ m .

Коэффициент использования светового потока светильников с люминесцентными лампами ШОД-2-80 по равен 41 %.

Коэффициент неравномерности освещения Z введен в формулу светового потока лампы потому, что освещенность, посчитанная без этого коэффициента, является не минимальной, как требуют нормы, а средней. Введением коэффициента Z это устраняется. Z зависит от отношения L/h , где L – расстояние между светильниками, h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью. Наивыгоднейшее расположение светильников ЛОД $\lambda=1,4$.

Тогда $Z=1,2$.

Количество ламп для требуемого общего искусственного освещения

$$n = \frac{E \cdot \kappa \cdot S \cdot Z}{F \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 1,3 \cdot 50 \cdot 1,2}{4300 \cdot 0,41} \approx 18 \text{ шт.}$$

Так как светильники двухламповые, их нужно в два раза меньше, чем ламп, поэтому считаем, что нам нужно 9 светильников.

Размещение светильников показано на рисунке 5.1.

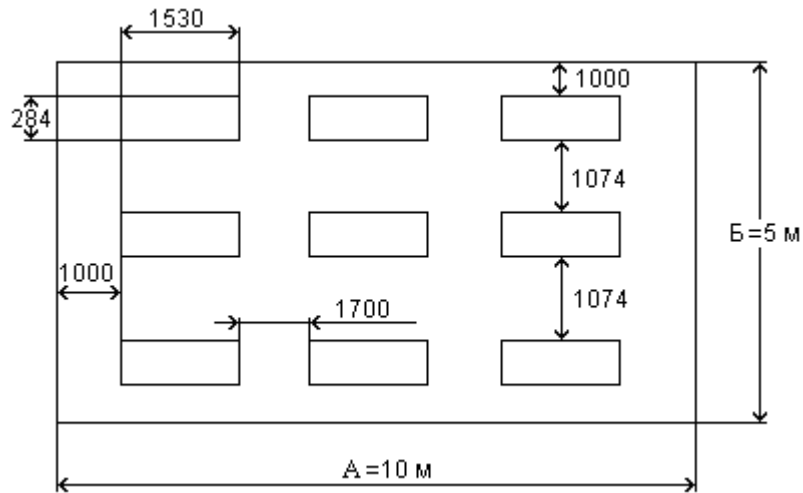


Рисунок 5.1 – Размещение светильников

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура воздуха в помещении, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха. Эти параметры в комплексе и по отдельности влияют на организм человека.

Метеорологические условия – оптимальная и допустимая температура, относительная влажность и скорость движения воздуха – устанавливаются для рабочей зоны производственных помещений в соответствии с требованиями [21], исходя из категорий тяжести выполняемой работы, величины избытков явного тепла и периода года.

По степени физической тяжести работа инженера-проектировщика относится к категории легких работ Ia. Основные нагрузки на организм – нервно-психологические, а также зрительные. В основном все метеорологические параметры кабинета диспетчера удовлетворяют требуемым нормам.

На производительность труда и состояние здоровья человека оказывает влияние состояние воздуха и метеоусловия рабочей зоны, которые характеризуются рядом параметров.

Таблица 5.1 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Легкая Ia	22 – 24	40 – 60	0,1
Теплый	Легкая Ia	23 – 25	40 – 60	0,1

Содержание пыли в воздухе рабочего помещения ниже установленной нормы [22], по которой предельно-допустимая концентрация составляет более 10 мг/м^3 .

Одновременно в рабочем помещении находится в среднем 2 человека, следовательно, вентиляция в помещении искусственная. Для поддержания в рабочем помещении в холодное время года температуры воздуха (21-23) °С используется система водяного отопления.

В результате исследований установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека. Действие шума различно: затрудняет разборчивость речи, вызывает снижение работоспособности, повышает утомляемость, вызывает изменения в органах слуха человека, ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция.

Предельно допустимые значения, характеризующие шум и вибрацию, регламентируются. Норма звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ЭВМ, равна 50 дБ по шкале А. Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряжений электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемого тела.

Нарушения в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимый характер.

При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови.

Напряженность электрического поля ЭВМ на расстоянии 0,5 м от экрана монитора, на расстоянии 0,5; 1; 1,5 м от пола по электрической составляющей не более 25 В/м в диапазоне частот (2-2000) Гц, не более 2,5 В/м в диапазоне частот (2-400000) Гц. Плотность потока переменного магнитного поля $f=2 \text{ Гц}-2 \text{ кГц}<250 \text{ нТл}; f=2 \text{ Гц}-400 \text{ кГц}<25 \text{ нТл}$.

По существующим представлениям, статическое электричество возникает в результате сложных процессов. При включенном питании компьютера на экране дисплея накапливается статическое электричество. В этом можно убедиться, если провести рукой по экрану. Будет слышно легкое потрескивание и ощущение легкого покалывания в ладони. Электрический ток искрового разряда статического электричества мал и не может вызвать поражение человека, но этот разряд может вызвать у человека испуг.

Для снижения величин возникающих зарядов целесообразно применение полов из антистатического материала.

При организации рабочего места необходимо выполнять требования эргономики, то есть учитывать все факторы, влияющие на эффективность действий человека при обеспечении безопасных приемов его работы.

Размер зоны приложения труда зависит от характера труда и может ограничиваться площадью, оснащенной технологическим, основным и вспомогательным оборудованием, технологической оснасткой, инструментами и приспособлениями, а также пультом и щитом управления.

Предметом эргономики является конкретная деятельность человека, использующего машины, а объектом исследования – система «человек-машина-среда».

К эргономическим показателям относятся:

- гигиенические;
- антропологические;
- физиологические;
- эстетические.

Рабочие места проектируются с учетом антропометрических данных человека усредненных размеров человеческого организма, так как если размещение органов управления не соответствуют возможностям оператора, то выполняемая работа будет тяжелой и утомительной.

Рабочее место программиста должно быть удобно. Рабочее место человека-оператора характеризуется рабочей средой, т.е. совокупностью факторов внешней среды. К ним относятся физические, химические, биологические.

Комфортной рабочей средой рабочего места называется такое состояние внешней среды на рабочем месте, которое обеспечивает оптимальную динамику работоспособности оператора, хорошее самочувствие и сохранение его здоровья.

Оптимальные параметры рабочего места установлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные параметры рабочего места

Параметры	Значения параметров	Реальные значения
Высота сидения	400-500 мм	450 мм
Высота клавиатуры	600-750 мм	700 мм
Удаленность клавиатуры	≥ 80 мм	80 мм
Высота от стола до клавиатуры	20 мм	20 мм
Удаленность экрана	500-700 мм	600 мм
Высота рабочей поверхности	≥ 600 мм	680 мм
Угол наклона экрана	0-30 град.	15 град.
Угол наклона клавиатуры	7-15 град.	15 град.

Исходя из требований достижения оптимальных условий труда, в положении сидя, рабочее место должно иметь следующие параметры:

- ширина не менее 700 мм;
- длина не менее 1400 мм;
- высота рабочей поверхности над полом 680 мм;
- высота сидения 430 мм.

Главным органом управления компьютером является клавиатура, с помощью которой в компьютер вводятся тексты программ и команды. Поэтому большое значение имеет размещение клавиатуры на рабочем столе, насколько удобны клавиши и как они расположены на панели клавиатуры. Нормальным ее расположением является ее расположение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Для удобства клавиатура не связана жестко с монитором.

Немаловажное значение для условий работы имеет размещение органов отображения информации, то есть экрана дисплея. Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Конструкция дисплея позволяет выбрать угол наклона экрана, оптимальный угол наклона к вертикали равен (15-20) град. Дисплей находится на расстоянии (40-80) см. Кроме того, есть возможность выбрать свой уровень контрастности и яркости изображения на экране. Все это позволяет создать оптимальные условия для работы.

Опасные психофизиологические и вредные производственные факторы, согласно ССБТ делятся на физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки). Длительное решение алгоритмических задач, построение сложных алгоритмов приводит к умственному переутомлению человека, снять которое сложнее чем физическую усталость. Чтобы расслабиться, получить физическую нагрузку нужно заниматься спортом.

Большое значение имеет цветовое решение при оформлении помещения. Психофизиологическое воздействие цвета первый и наиболее важный фактор, учитываемый при выборе цветового решения. Учитывая характер работ, следует выбирать неяркие, малоконтрастные оттенки, которые не рассеивали бы внимания в рабочей зоне.

Располагать рабочее место, оборудованное дисплеем необходимо таким образом, чтобы в поле зрения оператора не попадали окна и осветительные приборы. Они не должны находиться непосредственно за спиной.

Оптимальная организация режима труда и отдыха, рациональная организация трудового процесса позволяет снизить перегрузки при умственном труде.

5.3 Техника безопасности

Диспетчер работает с электроприборами: компьютером (дисплей, процессор, клавиатура) и принтером. В данном случае существует опасность электропоражения:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к не токоведущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развертки.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. «Правила устройства электроустановок», все помещения делят на:

- помещения с повышенной опасностью;
- особо опасные помещения;
- помещения без повышенной опасности.

Согласно классификации помещений по опасности электропоражений работа над дипломным проектом велась в помещении без повышенной опасности, т.е. оно не характеризовалось наличием таких условий, как:

- повышенная влажность (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %);

- высокая температура (более 30 °С);
- токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы;
- возможность одновременного соприкосновения к имеющим соединению с землей металлическим предметам и металлическим корпусам электрооборудования.

Все меры обеспечения безопасности эксплуатации электроустановок можно разделить на подгруппы.

1 Организационные мероприятия — каждый работающий проходит вводный инструктаж на рабочем месте.

2 Технические мероприятия:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых должна быть проведена работа, и принятие мер, в результате которых становится невозможна подача напряжения к месту работы;

- проверка отсутствия напряжения на участке работ и наложение на токоведущие части временных заземлений;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы.

3 Эксплуатационные мероприятия:

- при любой неисправности необходимо обращаться к ответственному за помещение;

- пользователю не разрешается разбирать оборудование, работать в верхней одежде;

- запрещается переносить включенный терминал и другое.

1.6 5.4 Пожарная безопасность

Пожар представляет особую опасность, так как он грозит уничтожением аппаратуры, инструментов, документов, которые представляют большую материальную ценность, и возникновением пожара в соседних помещениях. А также может представлять серьезную угрозу жизни и здоровью персонала.

Так как производственное помещение по степени пожароопасности относится к категории В [25], т.е. к помещениям с твердыми сгораемыми

веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного, организационного плана.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Причиной загорания может быть:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткое замыкание в блоке питания или высоковольтном блоке дисплейной развертки;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.;
- наличие кислорода, как окислителя процессов горения.

Необходимо предусмотреть ряд мер, направленных на обеспечение тушения пожара:

- обеспечить подъезды к зданию;
- обесточивание электрических кабелей;
- наличие пожарных щитов и ящиков с песком в коридорах;
- наличие гидрантов с пожарными рукавами;
- тепловая сигнализация;
- телефонная связь с пожарной охраной;

– огнетушители: химический пенный ОВП-10 и углекислотный ОУ-2.

План эвакуации представлен на рисунке 5.2.

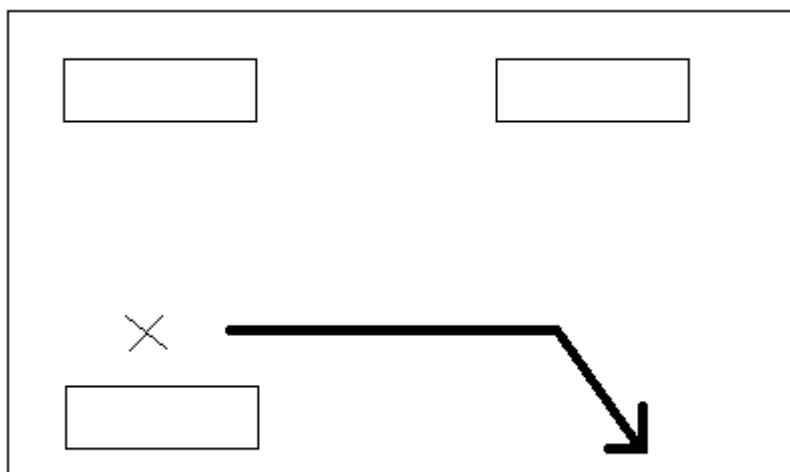


Рисунок 5.2 – План эвакуации

5.5 Охрана окружающей среды

Проблема защиты окружающей среды – одна из важнейших задач современности.

Защита окружающей среды – это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

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

Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как: изменение климата – накопление углекислого газа в атмосфере Земли

(парниковый эффект); загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами; загрязнение водного бассейна Земли; опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов; изменение ландшафта Земли.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

Стоит также отметить, что для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был разработан и исследован асинхронный частотно-регулируемый электропривод насоса перекачки золошлаковой пульпы.

В работе осуществляется выбор оборудования. Предложено использовать современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод. Выбран электродвигатель серии 6А355М4, преобразователи частоты фирмы Danfoss.

Разработана структурная схема асинхронного частотно-токового электропривода со скалярным управлением. Проведены имитационные исследования в программной среде MATLAB, которые показали что, при прямом пуске АД ударные (критические) моменты очень велики, что приводит к выходу из строя как АД так и кинематики привода в целом. Далее для снижения колебательности системы был реализован задатчик интенсивности, формирующий S-образную задающую функцию. Опытным путем были подобраны параметры задатчика интенсивности, таким образом, чтобы динамическая характеристика имела вид близкий к идеальному (малую колебательность, относительно невысокий максимальный момент и время переходного процесса).

Для работы электропривода была выбрана система со скалярным управлением и законом $U/f^2 = const$, как наиболее подходящая для насосной установки и имеющая достаточный диапазон регулирования.

По результатам исследования были сделаны выводы:

Скорость устанавливается в соответствии с заданной частотой, момент устанавливается в зависимости от скорости соответственно вентиляторной нагрузке. Время переходного процесса при $U_3=1$ составило 3,47 с., что приемлемо для системы данной мощности.

Показано, что разработанный электропривод полностью удовлетворяет требованиям технического задания, а предложенные принципы организации управления позволяют обеспечить нужную скорость работы механизма.

В экономической части произведена экономическая оценка замещающих инвестиций в модернизацию насосной станции. Рассчитан срок окупаемости и некоторые показатели эффективности.

В разделе безопасности и экологичности проанализированы опасные и вредные производственные факторы, даны практические рекомендации по технике безопасности и производственной санитарии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Насос 250-NB. Техническая документация.
- 2 Автоматизированный электропривод / под ред. И.И. Петрова и др. – М.: Энергия, 1980.
- 3 Автоматизированный электропривод / под ред. Н.Ф. Ильинского и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
- 4 Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., доп. – М.: Высш. шк., 2000. – 255с.
- 5 Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоиздат, Ленингр. Отд-ние, 1982.
- 6 Браславский И.Я. Электросберегающий асинхронный двигатель. – М.: Энергоатомиздат, 2004.
- 7 Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Высш. шк., Логос, 2000.
- 8 Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1986.-416с.
- 9 Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 2002.
- 10 Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах. – Чебоксары: Издательство Чуваш, 1998. – 172 с.
- 11 Преобразователь частоты VLT6400 фирмы Danfoss. Руководство пользователя.
- 12 Преобразователь частоты VLT6400 фирмы Danfoss. Технические характеристики.
- 13 Современные системы автоматизации. 1/2002.
- 14 Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1987г.

15 Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 6: Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.

16 Чернышев А.Ю., Ланграф С.В., Чернышев И.А. Исследование систем скалярного частотного управления асинхронным двигателем: Учебно-метод. пособие. /Томск. Политехн. Ун-т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.-29с.

17 Чернышёв А.Ю., Чернышёв И.А.. Расчёт характеристик электропривода переменного тока. Часть 1. – Асинхронный двигатель: Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.

18 Белов С.В., Ильницкая А.В. и др. Безопасность жизнедеятельности. – Москва, 1999.

19 Смирнов А.Д., Антипов К.М. Справочная книжка энергетика. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 440с.

20 Юдин Е.Я., Белов С.В. Охрана труда в машиностроении. – Москва, 1983

21 Атаманюк В.Г. и др. Гражданская оборона. – Петербург, 1986.

22 СанПиН 2.2.4.548-96.

23 СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03.

24 СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96; ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ.

25 НПБ105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

Приложение А

Раздел 6
THE DEVELOPMENT and RESEARCH of ELECTRIC drive
TRANSFER PUMP SLAG PULP

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Колесник Алексей Геннадьевич		

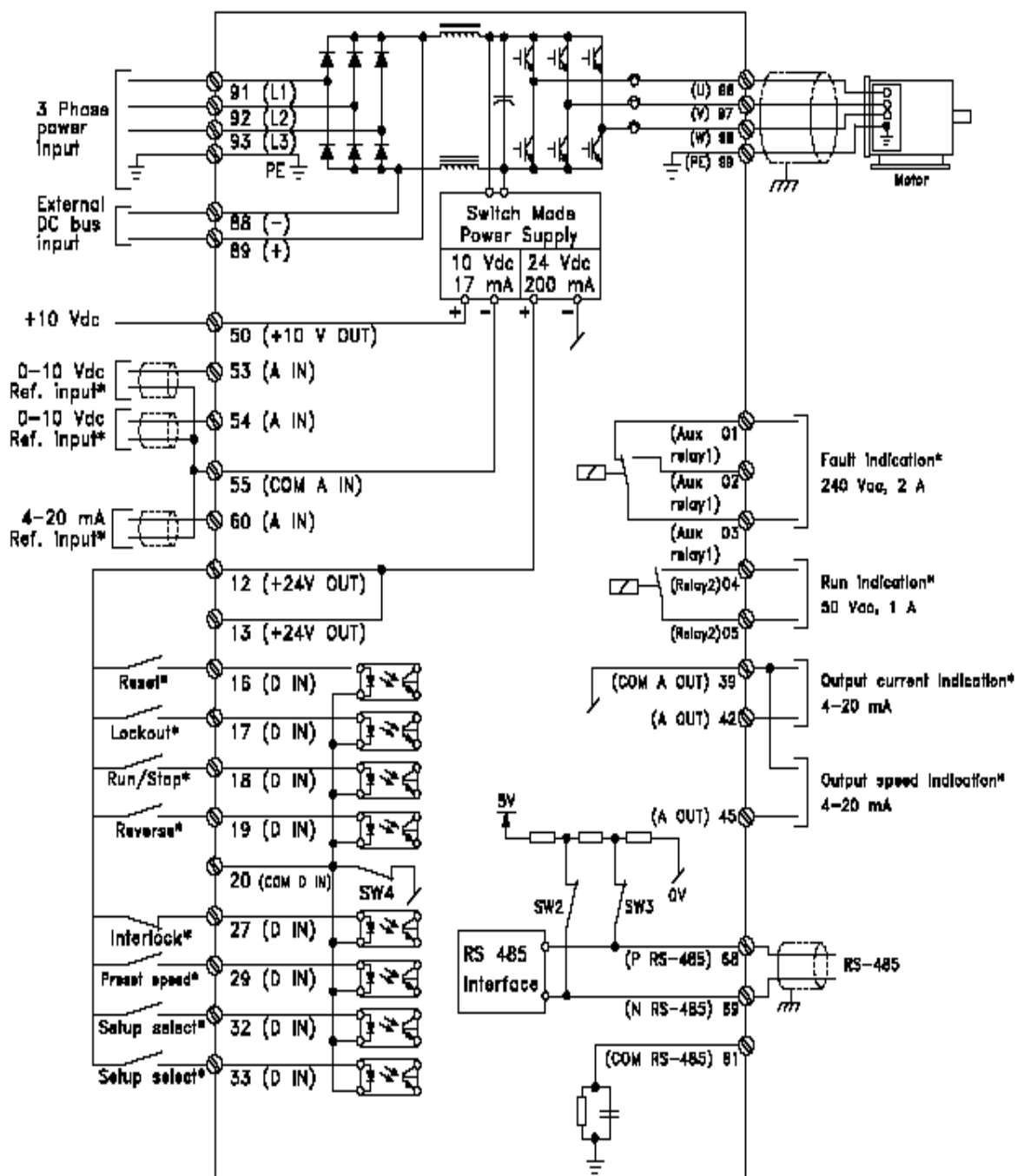
Консультант отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов К.В.			

Консультант – лингвист отделения ИЯ ШБИП:

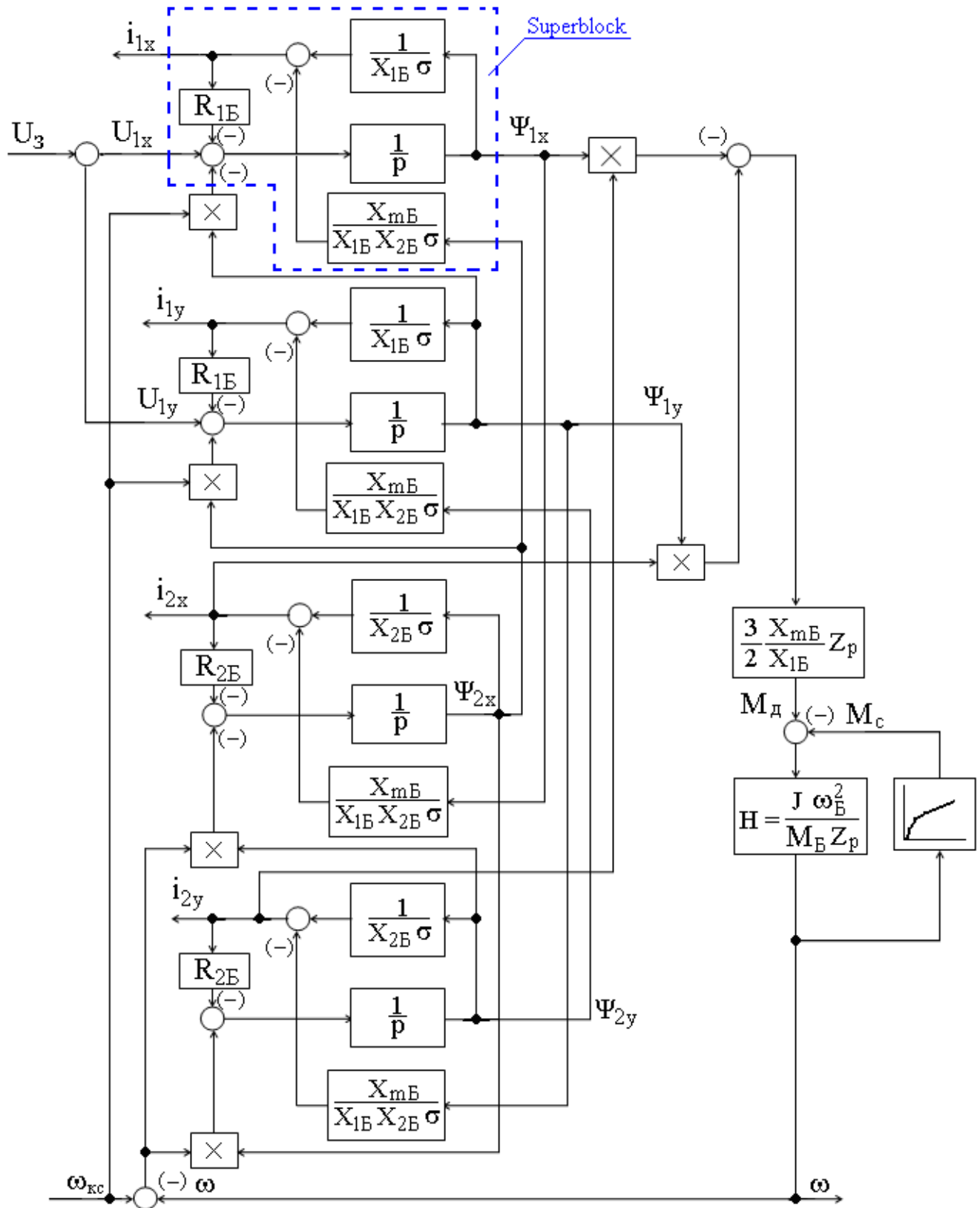
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Соколова Э.Я.			

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



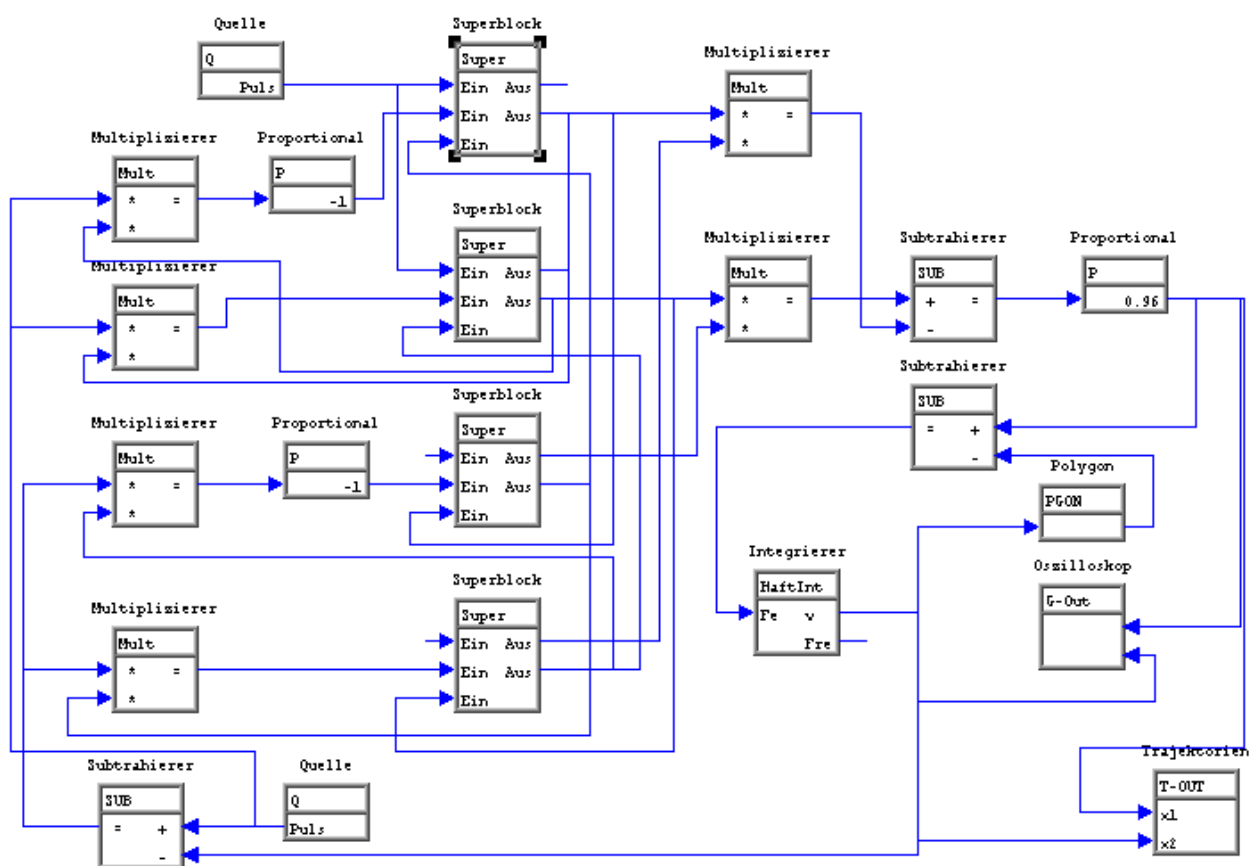
Электрическая схема преобразователя частоты

ПРИЛОЖЕНИЕ В



Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



Полная схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, смоделированная в программной среде WINDORA