

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

Институт Электронного обучения
Специальность 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривод и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод вентилятора системы регулирования температуры прокатного стана.

УДК 62.83.523:621.63:

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Мазакиров Азмиддин Абдурахмонович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ляпушкин Сергей Викторович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Юрий Николаевич	к.т.н. доцент		

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

Институт Электронного обучения
Специальность 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривод и электрооборудования

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Мазакиров Азмиддин Абдурахмонович

Тема работы:

Электропривод вентилятора системы регулирования температуры прокатного стана.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.04.2016. №2533/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; расчет статических и динамических характеристик, финансовый менеджмент; социальная ответственность проекта; заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	- схема электрическая принципиальная; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
	Ляпушкин Сергей Викторович
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
«Социальная ответственность»	Романцов Игорь Иванович

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ляпушкин Сергей Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Мазакиров Азмиддин Абдурахмонович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Мазакирову Азмиддину Абдурахмоновичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

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

1. Стоимость ресурсов:	Стоимость материалов, информационных и человеческих ресурсов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения	Отчисления во внебюджетные страховые фонды (30,2% от заработной платы)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирования графика работ по реализации технического проекта	Для составления графика по проектированию электроснабжения предприятия используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график Ганта, позволяющий спланировать процесс реализации технического проекта
2. Составление сметы инженерного проекта (ИП)	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: • материальные затраты; • полная заработная плата исполнителей; • отчисления во внебюджетные фонды; • накладные расходы;
3. Оценка ресурсной эффективности ИП и потенциальных рисков	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Мазакирову А. А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Мазакирову Азмиддину Абдурахмоновичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	Электропривода и электрооборудования
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: 1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) 1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) 1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) 1.4. чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	<i>Закрытое сухое помещение, Необходимо поддержание: нормативных метеоусловий, качества воздушной среды (в условиях проведения пайки), освещения, уровней вибрации, шума и ЭМП; нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности, защиты от ожогов при работе с паяльником. Использование ПЭВМ, освещение и отопление требуют сжигания топлива на ТЭЦ, дающего выбросы в атмосферу ЗВ. Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары), электрический удар, например, при замыкании фазы питания на корпус ПЭВМ при нарушенном его заземлении.</i>
2. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.	<i>ГОСТ 12.0.003-74 «ОпВПФ»; ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»; ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»; ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.; №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681; Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12.2014).</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: 1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; 1.2. действие фактора на организм человека; 1.3. приведение допустимых норм с необходимой размерностью; 1.4. предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Вредные факторы: 1. Шум; 2. Вибрации; 3. Загазованность рабочей зоны; 4. Ненормативные метеоусловия; 5. Ненормативное освещение; 6. Ненормативные ЭМП.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности 2.1. механические опасности (источники, средства защиты); 2.2. термические опасности (источники, средства защиты); 2.3. электробезопасность (в т.ч. статическое электричество,	<i>Вся электрическая цепь помещения оснащена заземлительным контуром, выполненным в соответствии с ПУЭ от 08.07.2002, №204. Глава 1.7.</i> <i>Опасные факторы:</i>

молниезащита – источники, средства защиты); 2.4.пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	2.1.Опасность электропоражения; 2.2.Опасность ожога; 2.3.Пожаровзрывоопасность.
3. Охрана окружающей среды: 3.1.защита селитебной зоны 3.2.анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 3.3.анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 3.4.анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 3.5.разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	По п.п.3.1.,3.2.,3.4.: Люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. По п.п.3.1.,3.2.:оценить масштабы уменьшения выбросов ЗВ от возможной экономии электроэнергии на рабочем месте. По п.3.3.: описать схему очистки коммунальных стоков в г. Томске. По п.3.4.: дать схему обращения твердых отходов от рабочего места согласно Постановлению Администрации г. Томска от 11.11.2010. По п.3.5.: обобщить меры по защите окружающей Среды.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: 4.1.перечень возможных ЧС на объекте; 4.2.выбор наиболее типичной ЧС; 4.3.разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 4.4.разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС.	Разработать мероприятия по предупреждению загораний, ожогов и электропоражений и мер по ликвидации их последствий.
5. Правовые и орг. вопросы обеспечения безопасности: 5.1.орг. мероприятия при компоновке рабочей зоны	
Перечень графического и инструктивного материалов:	
Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).	Инструкции по электробезопасности и пожарной безопасности. План эвакуации.

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

Задание выдал консультант, должность:	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент Группы	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Мазакиров А. А.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 92 страниц текста, 46 рисунка, 19 таблицы, 31 использованных источников.

Ключевые слова: прокатный стан, преобразователь частоты, электропривод, вентилятор.

Объектом исследования является: регулируемый электропривод.

Цель работы: разработка и исследование микропроцессорной системы регулирования температуры двигателя прокатного стана.

В процессе исследования проводились исследования на имитационной модели системы электропривода в программах Matlab Simulink, Mathcad.

В результате исследования было выявлено, что электропривод обладает высокими эксплуатационными характеристиками, предъявляемыми к электроприводам вентиляторов

Пояснительная записка ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, также использовались программы MathCad 13, Logo!Soft Comfort v6.0, Mat lab R2010B и представлена на лазерном диске в конверте на обороте обложки.

Содержание

	Введение_____	10
1.	Технологический процесс прокатки_____	13
1.1.	Оборудование прокатного стана_____	15
1.2.	Холоднокатаная прокатка листовой стали_____	17
2.	Описание и реализация микропроцессорной системы регулирования температуры_____	18
2.1.	Конкурентные преимущества микропроцессорных систем автоматизации_____	18
2.2.	Разработка функциональной схемы_____	19
2.3.	Выбор электрооборудования_____	22
2.3.1.	Выбор электродвигателей_____	22
2.3.2.	Выбор вентиляторов_____	23
2.3.3.	Выбор преобразователей частоты_____	24
2.3.4.	Выбор входного фильтра_____	27
2.3.5.	Выбор выходного фильтра_____	29
2.3.6.	Выбор автоматического выключателя для силовых цепей_____	31
2.3.7.	Выбор автоматического выключателя для цепей управления_____	32
2.3.8.	Выбор магнитных пускателей_____	32
2.3.9.	Выбор промежуточных реле_____	33
2.3.10.	Выбор датчиков температуры_____	34
2.3.11.	Выбор нормирующего преобразователя_____	35
2.3.12.	Выбор кнопок и сигнальной аппаратуры_____	36
2.3.13.	Выбор источников питания_____	37
3.	Расчет параметров электродвигателя _____	37
3.1.	Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным _____	37
3.2.	Расчет и построение естественной механической и электрохимической характеристик электродвигателя_____	42

3.3.	Статические характеристики вентилятора при регулировании скорости по закону регулирования $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$ _____	45
4.	Исследование работы привода вентилятора микропроцессорной системы регулирования температуры двигателя прокатного стана в среде моделирования MatLab Simulink _____	50
4.1.	Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска и наброса нагрузки на валу двигателя _____	50
4.2.	Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска с вентиляторной нагрузкой на валу двигателя замкнутой системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» _____	53
5.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ _____	62
5.1.	Организация работ технического проекта _____	62
5.2.	Составление сметы затрат на разработку проекта _____	67
5.2.1.	Расчет полной заработной платы исполнителей темы _____	67
5.2.2.	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) _____	68
5.2.3.	Накладные расходы _____	69
5.3.	Расчет стоимости технических средств _____	69
5.4.	Определение ресурсоэффективности проекта _____	71
6.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ _____	73
6.1.	Анализ опасных и вредных факторов _____	73
6.2.	Техника безопасности _____	74
6.3.	Производственная санитария _____	79
6.4.	Пожарная безопасность _____	84
6.5.	Охрана окружающей среды _____	85
6.6.	Защита при ЧС _____	86
	Заключение _____	89
	Список использованных источников _____	91

Введение

Электровентиляторы переменного тока относятся к классу воздуходувных лопаточных машин центробежного типа и наряду с осевыми и диаметрными вентиляторами находят широкое применение во многих отраслях народного хозяйства. Центробежный электровентилятор по своему конструктивному оформлению является простейшей из турбомашин. Однако при создании каждого нового вентилятора приходится решать все задачи стоящие перед конструктором любой другой более сложной машины. Комплекс задач, решаемых в процессе создания нового вентилятора, объединяется в понятие рациональная конструкция. Рационально сконструированный вентилятор должен характеризоваться высокой экономичностью, надежностью, возможно меньшими массой, металлоемкостью, габаритными размерами, технологичностью конструкции и наименьшими возможными эксплуатационными расходами. Промышленный вентилятор изображен на рисунке 1:



Рисунок 1 - Промышленный вентилятор

Достаточно сказать, что вентиляторы потребляют около восьми процентов электроэнергии вырабатываемой в нашей стране. В связи с этим создание новых высокоэкономичных вентиляторов, обеспечение их устойчивой и надежной работы, совершенствование их способов регулирования, повышение их к.п.д. и решение многих задач имеет большое народно хозяйственное значение.

Непрерывно расширяется область применения центробежных электровентиляторов в различных отраслях промышленности и повышаются требования к ним. Все это выдвигает много новых задач, например, разработка достаточно экономичных вентиляторов малой и большой быстроходности, уменьшение создаваемого вентиляторами шума, увеличение допустимых скоростей рабочих колес, разработка микро вентиляторов, обеспечение надежной и устойчивой работы одного или нескольких вентиляторов в сложных вентиляционных сетях и др.

Вентиляторы занимают среди турбо-механизмов второе место после насосов по распространению в промышленности. Основное количество приходится на вентиляторы сантехнического назначения, осуществляющие кондиционирование воздуха в производственных и других помещениях. Несмотря на относительно малую мощность сантехнических вентиляторов (до 100 кВт), на их долю приходится значительная потребляемая суммарная мощность.

Вентиляторы разделяются на центробежные и осевые. Из аэродинамических средств регулирования для центробежных вентиляторов наиболее широко используется регулирование поворотом лопастей направляющего аппарата. Регулирующий эффект при этом достигается вследствие уменьшения сечения входного канала и закручивания потока на входе в рабочее колесо. В настоящее время приводы вентиляторов малой мощности (ниже 250 кВт) оснащаются, как правило, асинхронными короткозамкнутыми двигателями. Особое значение для вентиляторов имеет применение регулируемого электропривода. КПД вентиляторов при регулируемом электроприводе должно быть больше, чем при нерегулируемом, в среднем на 12%. Кроме повышения КПД, применение регулируемого привода позволяет в ряде случаев упростить конструкцию турбомашин, исключив направляющий аппарат, а также обеспечить параллельную работу двух или

нескольких вентиляторов. В настоящее время тенденции перехода к регулируемому приводу для вентиляторов стали более очевидными [1].

Вентиляторы являются механизмами с режимом длительной нагрузки с большим числом часов работы в году, нагрузка на валу приводного двигателя спокойная, перегрузок не возникает. Частота вращения рабочего колеса вентиляторов составляет 1000—3000 об/мин.

Электропривод переменного тока вентилятора предназначен для регулирования перемещения потока воздуха по воздуховодам в системах вентиляции

Так как полезная мощность турбо механизма пропорциональна кубу частоты вращения, а КПД его неизменен, то и подводимая к турбо механизму мощность пропорциональна кубу частоты вращения

$$P_{\text{мех}} = k_p \cdot n^3. (1)$$

Следовательно, момент аэродинамического сопротивления турбо механизма пропорционален квадрату частоты вращения

$$M = k_m \cdot n^2. (2)$$

Для этого случая момент сопротивления турбо механизма, приведенный к валу двигателя, имеет вид

$$M = M_{\text{тр}} + k_m \cdot n^2. (3)$$

Момент сопротивления турбомеханизма складывается из момента аэродинамического сопротивления и момента, обусловленного механическими сопротивлениями. Момент трения $M_{\text{тр}}$ для большинства турбомеханизмов не превышает 5% номинального момента. С учетом этого механическая характеристика турбомеханизма в относительных единицах имеет вид[2]:

$$\frac{M}{M_{\text{ном}}} = 0,05 + 0,95 \left(\frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^2. (4)$$

Механическая характеристика турбомеханизма изображена на рисунке 2:

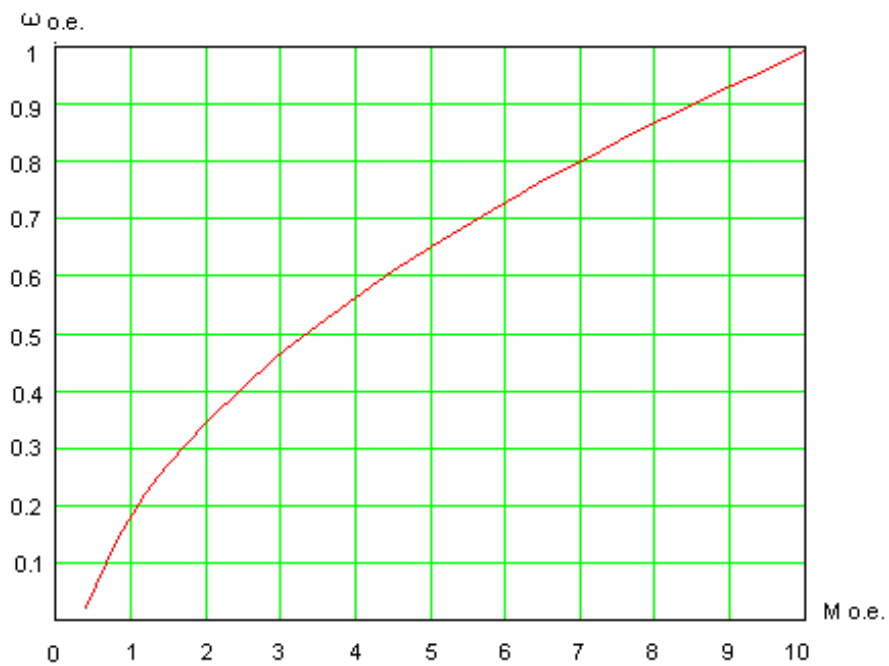


Рисунок 2 - Механическая характеристика турбомеханизма

1. Технологический процесс прокатки

Прокатный стан - машина для обработки давлением металла и др. материалов между вращающимися валками, т. е. для осуществления процесса прокатки. В более широком значении - автоматическая система или линия машин (агрегат), выполняющая не только прокатку, но и вспомогательные операции: транспортирование исходной заготовки со склада к нагревательным печам и к валкам стана, передачу прокатываемого материала от одного калибра к другому, кантовку, транспортирование металла после прокатки, резку на части, маркировку или клеймение, правку, упаковку, передачу на склад готовой продукции и др. Современный прокатный стан, который эксплуатируется на Нижнетагильском металлургическом комбинате, изображен на рисунке 3:



Рисунок 3 - Прокатный стан горячей прокатки

Производство металлопродукции подразделяется на две основные стадии. В первой получают металл заданного химического состава из исходных материалов. Во второй стадии металлу в пластическом состоянии придают ту или иную необходимую форму (металлопродукцию) при практически неизменном химическом составе материала. Как известно, в технике широко используется способность металлов принимать значительную пластическую деформацию в горячем и холодном состоянии. При этом изменение формы тела осуществляется преимущественно с помощью давящего на металл инструмента. Поэтому получение изделий таким способом называют обработкой металлов давлением или пластической обработкой. Обработка металлов давлением представляет собой важный технологический процесс металлургического производства. При этом обеспечивается не только придание слитку или заготовке необходимой формы и размеров и получение готовой металлопродукции, но совместно с другими видами обработки существенно улучшаются механические и другие свойства металлов. Прокатка, волочение, прессование, ковка, штамповка представляют собой различные виды обработки металлов давлением в пластическом состоянии. Прокатка металлов является таким видом пластической обработки, когда исходная заготовка обжимается вращающимися валками прокатного стана в целях уменьшения поперечного сечения заготовки и придания ей заданной формы. Существует три основных

способа прокатки: продольная, поперечная и поперечно винтовая (или косая). Среди различных методов пластической обработки прокатка занимает особое положение, поскольку данным способом производят изделия, пригодные для непосредственного (в состоянии поставки) использования в строительстве и машиностроении (швеллеры, балки, уголки, шпунт, рельсы, профили и пр.). Прокаткой получают также разнообразные виды заготовок, которые являются исходным материалом для других способов обработки. Так, горячекатаная и холоднокатаная листовая сталь, полосы и ленты в больших количествах идут для листовой штамповки.

1.1. Оборудование прокатного стана

Оборудование прокатного стана, служащее для деформации металла между вращающимися валками, называют основным, а для выполнения прочих операций - вспомогательным. Основное оборудование состоит из одной или нескольких главных линий, в каждой из которых располагается 3 вида устройств:

1 - рабочие клетки (одна или несколько) - к ним относятся прокатные валки с подшипниками, станины, установочные механизмы, плитовины, проводки.

2 - электродвигатели для вращения валков.

3 - передаточные устройства от электродвигателей к прокатным валкам, состоящие большей частью из шестерённой клетки, шпинделей и муфт. Между шестерённой клетью и электродвигателем часто устанавливают редуктор. Если каждый валок имеет свой электродвигатель, передаточные устройства состоят только из шпинделей. Схематически, прокатный стан изображен на рисунке 4:

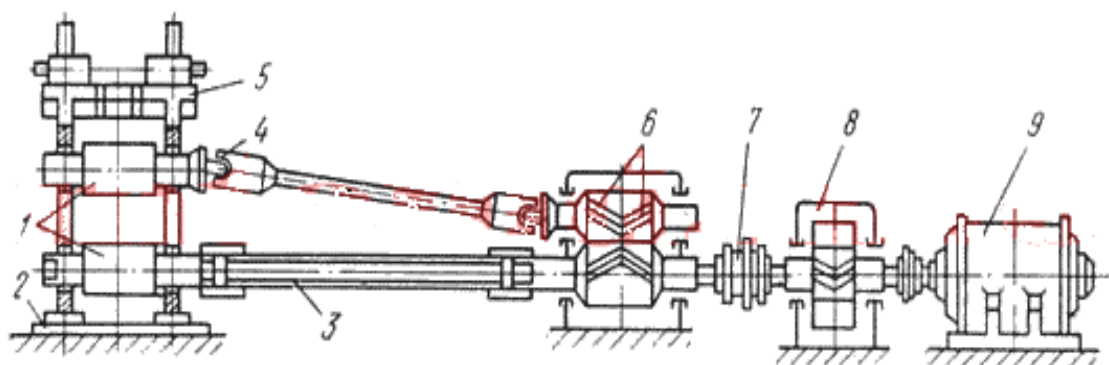


Рисунок 4 - Схема прокатного стана

На рисунке оборудование прокатного стана имеет следующие обозначения

- 1 – прокатные валки;
- 2 – плита;
- 3 – треховый шпиндель;
- 4 – универсальный шпиндель;
- 5 – рабочая клеть;
- 6 – шестеренная клеть;
- 7 – муфта;
- 8 – редуктор;
- 9 – двигатель.

Двигатель прокатного стана имеет мощность 2.5 МВт и, соответственно, большие размеры. Напряжение питания составляет 10 кВ. Двигатель прокатного стана изображен на рисунке 5:



Рисунок 5 - Двигатель прокатного стана

1.2. Холоднокатаная прокатка листовой стали

Для холодной прокатки листовой стали в рулонах применяют различные станы в зависимости от объема производства, программы прокатки и назначения листовой стали. Процесс холодной прокатки стали показан на рисунке 6.

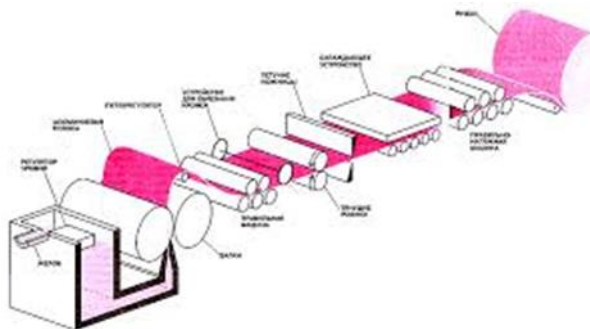


Рисунок 6 - Процесс холодной прокатки стали

При небольшом объеме производства, когда установка непрерывного стана невыгодна, применяют одноклетьевые реверсивные станы кварто. На одноклетьевых реверсивных станах кварто прокатывают тонколистовую углеродистую и легированную сталь обычно толщиной не более 0,5мм. Однако в некоторых случаях эти станы применяют для прокатки листовой стали толщиной менее 0,5мм. Например, при небольшом объеме производства их применяют для прокатки трансформаторной и нержавеющей листовой стали.

По сравнению с другими непрерывными станами производительность непрерывных станов кварто в 3-5 раз меньше, но они более удобны при настройке и прокатке полос различной толщины. Поэтому их широко применяют для прокатки разнообразного сортамента рулонов (по толщине, маркам стали и так далее). Значительное увеличение объемов производства холоднокатаной листовой и ленточной сталей с высокими требованиями к точности размеров по толщине, а также производство их из легированных сталей, характеризующихся относительно низкой технологической пластичностью, предопределили широкое применение многовалковых одноклетьевых реверсивных станов холодной прокатки. Схемы расположения

валков в рабочей клети для различных видов прокатных станов изображены на рисунке 7.

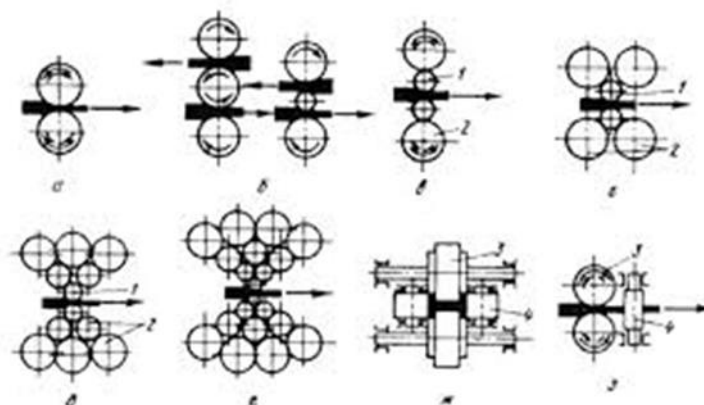


Рисунок 7 - Схема расположения валков в рабочей клети прокатного стана

Широкое применение для холодной прокатки листовой стали получили непрерывные станы – четырех, пяти и в ряде цехов шестиклетевые. Для холодной прокатки листовой стали широкого сортамента получили наибольшее применение непрерывные четырехклетевые станы.

2. Описание и реализация микропроцессорной системы регулирования температуры

2.1. Конкурентные преимущества микропроцессорных систем автоматизации

Раньше, из-за несовершенства технологического процесса, для управления производством требовались большие человеческие ресурсы. Как следствие содержание большого штата управляющего персонала и операторов никоим образом не сокращало затрат на содержание производства. С развитием микропроцессорной техники появилась возможность создания более сложных, надежных и дешевых автоматизированных систем. Задачи автоматизации теперь можно решать с помощью микроконтроллеров, программируемых логических контроллеров (ПЛК), программируемых интеллектуальных реле и так дали.

ПЛК представляют собой специальные устройства, которые «занимаются работой операторов и управляющего персонала». Установка технологических линий, автоматизация производства в промышленности могут работать самостоятельно (при минимальном контроле со стороны человека) при введении в эксплуатацию таких устройств. Обычно в одном ПЛК контролере установлена одна программа, направленная на автоматизацию заданного процесса. Одним из неоспоримых преимуществ контролеров является то, что ПЛК может работать в неблагоприятных климатических условиях. И, что не маловажно, работать при минимальном вмешательстве человека в процесс работы[9].

Еще одним преимуществом использования ПЛК контролеров является то, что заложенную в них программу действия можно изменить. Рассмотрим для чего это может пригодиться. Например, ПЛК контролер использовался для обслуживания одной производственной линии. Потом предприятие по какой-либо причине изменяет свой технологический процесс (ввод новых линий, реконструкция старых и так далее) и старая линия оказывается ненужной. В этом случае есть два пути: выкинуть старый контроллер или перепрограммировать его. В случае перепрограммирования ПЛК может работать на другой технологической линии и выполнять какие-то другие задачи. Это позволяет снижать издержки предприятия на покупку нового и реконструкцию старого оборудования. За счет этого значительно расширяется функционал и сфера применения этих устройств.

2.2. Разработка функциональной схемы

Системой автоматического регулирования (САР) температуры является замкнутая, одноконтурная система. Функциональная схема САР температуры представлена на рисунке 8.

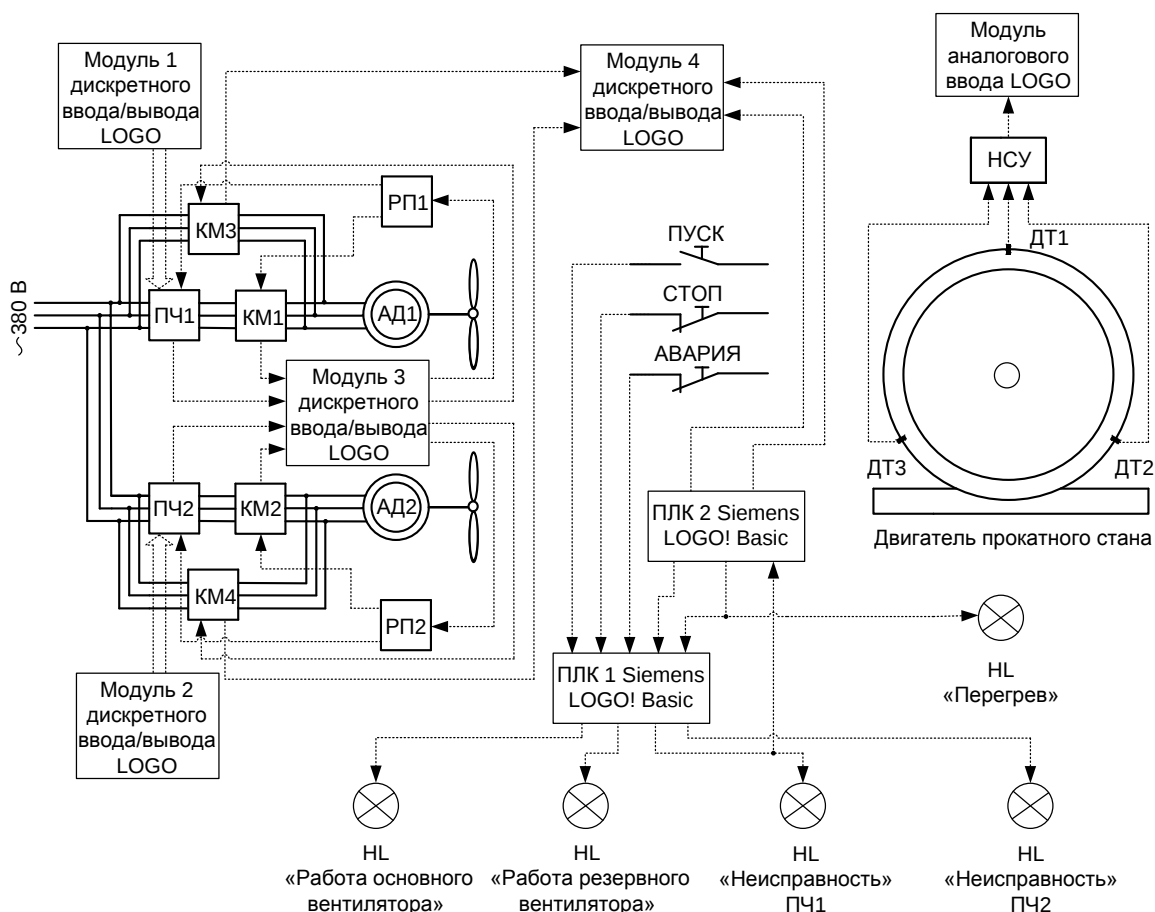


Рисунок 8 - Функциональная схема микропроцессорной системы регулирования температуры двигателя прокатного стана

На рисунке приведены следующие обозначения:

ПЧ1, ПЧ2 – преобразователи частоты

АД1, АД2 – двигатели вентилятора

ДТ1-ДТ3 – датчики температуры

НСУ – нормирующий суммирующий усилитель

КМ1-КМ4 – контакторы электромагнитные

НЛ – лампы сигнальные

В современных САР температуры, задание температуры реализуется программно. Для этого используются программируемые логические контроллеры, либо преобразователи частоты с функцией программирования

различных несложных процессов управления. Данная система реализована на основе программируемого логического контроллера из линейки Siemens LOGO.

Рассмотрим работу системы. Датчики температуры и нормирующий суммирующий усилитель (НСУ) обеспечивает отрицательную обратную связь. Регулятор температуры на основе заданного значения температуры и оцифрованного сигнала обратной связи задает скорость вращения двигателя вентилятора (АД1). Регулирование скорости вращения производится с помощью преобразователя частоты (ПЧ1). В зависимости от температуры двигателя прокатного стана происходит ступенчатое изменение скорости вращения вентилятора.

Работа системы происходит следующим образом. При недостаточной интенсивности вентиляции начинает возрастать температура асинхронного двигателя прокатного стана. Сигнал обратной связи по контуру температуры достигает определенного значения микроконтроллер отправляет сигнал на ПЧ для задания следующей фиксированной частоты. Это приведет к увеличению частоты питания напряжения двигателя вентилятора, и его скорость начнет возрастать. При снижении температуры ниже заданной скорость вентиляции будет снижаться. Задание скорости осуществляется путем подачи сигнала с выходов микроконтроллера и блоков его расширения на программируемые дискретные входы ПЧ.

Для повышения надежности система имеет резервирование основного привода вентилятора. Для этого используется следующее оборудование: ПЧ2, контакторы (КМ2, КМ4), АД2 и механизм вентилятора. Система может работать в нескольких режимах:

- 1) Работа привода основного вентилятора в регулируемом режиме;
- 2) Работа привода резервного вентилятора в регулируемом режиме;
- 3) Работа привода основного вентилятора в не регулируемом режиме;
- 4) Работа привода резервного вентилятора в не регулируемом режиме.

Переход из одного режима в другой осуществляется по техническим причинам и в случае неисправности оборудования. Приоритетным режимом работы является регулируемый режим работы привода.

2.3. Выбор электрооборудования

2.3.1. Выбор электродвигателей

Для привода вентилятора выбираем электродвигатель фирмы Siemens паспортные данные которого приведены в таблице 1. Внешний вид приведен на рисунке 9[11].



Рисунок 9 - Электродвигатель Siemens

Таблица 1 - Технические данные двигателя

Типоразмер двигателя	Синхронная частота вращения, об/мин	Момент инерции, кг*м ²	Мощность, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{\pi}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{\pi}}{I_{ном}}$
				Скольжение	КПД, %	cos φ				
1LG6 325-6AA	1000	4,9	160	0,019	95	0,87	2,4	2,3	1,6	6,6

Данный двигатель выбран на основании спроектированной системы вентиляции прокатного стана с применением частотного преобразователя.

2.3.2. Выбор вентиляторов

Центробежные дутьевые вентиляторы типа ВДН предназначены для подачи воздуха. Допускается применение вентиляторов в технологических установках различных отраслей народного хозяйства для перемещения чистого воздуха, а также в качестве дымососов на газомазутных котлах с уравновешенной тягой. Вентиляторы предназначены для эксплуатации при температуре окружающего воздуха не ниже -30°C и не выше $+40^{\circ}\text{C}$; максимально допустимая температура перемещаемой среды на входе в вентиляторы $+200^{\circ}\text{C}$. Вентиляторы рассчитаны на продолжительный режим работы в помещении и на открытом воздухе (вне помещения под навесом) в условиях умеренного климата (климатическое исполнение У, категория размещения 2, ГОСТ 15150-69). Выбранный центробежный вентилятор изображен на рисунке 10[11].

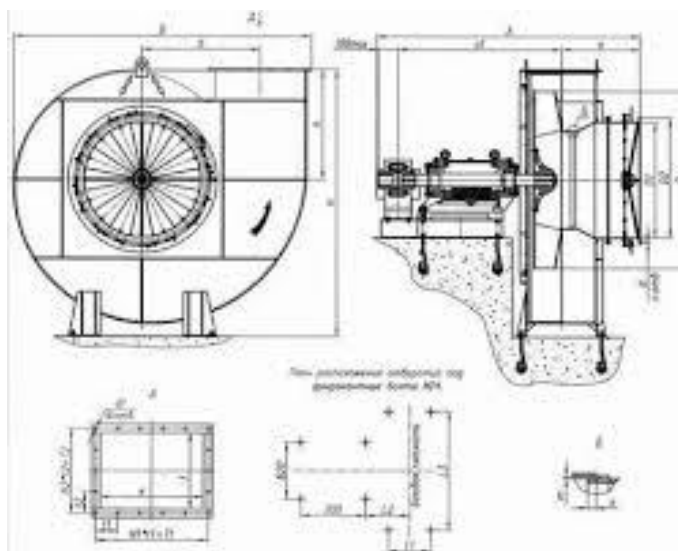


Рисунок 10 - Вентилятор ВДН-17

Таблица 2 - Технические характеристики тягодутьевых машин типа ВДН

Типоразмер машины	Мощн., кВт	Частота вращ., мин-1	Производ., м ³ /ч	Полное давление, Па	Масса, кг
ВДН-17	160	1000	73000	441	2760

2.3.3. Выбор преобразователей частоты

Преобразователь частоты, удовлетворяющий требованиям проекта, является преобразователь фирмы Siemens, серии MICROMASTER 430, изображенный на рисунке 1[14].



Рисунок 11 - Преобразователь частоты Micromaster 430

Область применения: преобразователь MICROMASTER 430 может использоваться для решения задач требующих применения приводов с изменяемыми скоростями вращения, разработаны для применения в области водоснабжения, отопления, вентиляции и в установках для кондиционирования воздуха. Более всего он подходит для приводов вентиляторов и насосов. В преобразователе увеличено количество цифровых и аналоговых входов/выходов. Так же к преобразователю может прилагаться (опционально) базовая панель оператора BOP-2 с функцией выбора режимов ручной/автоматический. Программное обеспечение преобразователя оптимизировано для работы с приводами насосов и вентиляторов.

Преобразователь MICROMASTER 430 имеет модульную конструкцию. Панель оператора и коммуникационные модули могут быть заменены без применения какого-либо инструмента.

Основные характеристики:

- простой ввод в эксплуатацию;
- особо гибкая конфигурация благодаря модульной конструкции;
- шесть встроенных, свободно параметризуемых быстродействующих цифровых входа;
- два аналоговых входа (0 В ... 10 В, 0 мА ... 20 мА), может по выбору быть использован в качестве 7 и 8-го цифрового входа;
- два аналоговых выхода (0 мА ... 20 мА);
- три параметризуемых релейных выхода;
- бесшумная работа двигателя благодаря высокой частоте ШИМ;
- полная защита двигателя и преобразователя;
- реализован режим каскадного запуска трех дополнительных двигателей;
- режим энергосбережения.

Принадлежности:

- дроссель коммутации сети;
- выходные дроссели;
- защитные кожухи;
- ВОР – базовый пульт управления для программирования преобразователя;
- коммуникационные модули;
- информационная промышленная сеть PROFIBUS;
- информационная промышленная сеть DeviceNet;
- монтажный комплект РС –преобразователь;
- монтажный комплект для встройки панели управления в дверь шкафа;
- РС – программы запуска в среде Windows XP и 7.

Механические параметры:

- модульное исполнение;
- рабочая температура: от минус 10 °С до плюс 40 °С;
- компактный корпус благодаря высокой удельной мощности;

- простое подключение сетевых кабелей и кабелей двигателей для оптимальной монтажной совместимости;

- съемная панель управления;

- съемная управляющая клеммная колодка, без винтов.

Силовые параметры:

- новейшая технология IGBT;

- цифровое микропроцессорное управление;

- прямое управление потоком двигателя (FCC) для улучшения динамических характеристик и оптимального управления двигателем;

- U/f управление, с параметрируемым начальным напряжением;

- U/f управление квадратичное;

- параметрируемая кривая зависимости U/f;

- «подхват на ходу»;

- компенсация скольжения;

- автоматический повторный запуск при пропадании питания или нарушениях режима;

- режим энергосбережения (остановка вентилятора, при работе на малых частотах);

- каскадный запуск (управление через выходные реле, включением и отключением дополнительных (до 3-х) двигателей);

- функция выбора режимов: ручной/автоматический;

- определение режима «сухого хода» насоса;

- встроенный ПИД регулятор с функцией автоподстройки;

- параметрируемое время разгона и торможения в пределах от 0 до 650 с;

- сглаживание кривой пуска;

- быстродействующее токоограничение (FCL) для безаварийной работы;

- точный ввод заданного значения благодаря 10-битному аналоговому входу;

- комбинированное торможение для контролируемого останова;

- 4 частоты пропускания против резонанса.

Защитные параметры:

- VT режим (переменная нагрузка);
- перегрузочная способность (способность перегрузки в течение 100 секунд при токе в полтора раза превышающем номинальный и в течение 300 секунд при токе в два раза превышающем номинальный);
- защита от перенапряжения и пониженного напряжения;
- защита от перегрева преобразователя;
- защита двигателя с помощью подключения РТС терморезистора или КТУ датчика;
- защитное заземление;
- защита от короткого замыкания;
- тепловая защита по I^2t ;
- защита от блокировки двигателя;
- защита от опрокидывания;
- защита от изменения параметров;

Исходя из функциональной схемы, преобразователь частоты Micromaster 430 имеет достаточное количество цифровых и аналоговых входов/выходов для обеспечения процесса управления и регулирования температуры, поэтому нет необходимости в применении программируемого логического контроллера.

2.3.4 Выбор входного фильтра

Входные выпрямители трехфазных преобразователей частоты, применяемые в электроприводах, считаются нелинейными, то есть ток на выходе является несинусоидальным. Они генерирует преимущественно 5 и 7, 11 и 13 гармоники тока. Гармоники тока обуславливают ряд проблем в питающих сетях, таких как:

- перегрев кабелей, трансформаторов и другого оборудования;
- искажение кривой напряжения особенно при работе резервных аварийных генераторов;

- ложное срабатывание входных автоматов;
- преждевременный выход из строя двигателей, генераторов, ложные срабатывания и отказы компонентов слаботоочного оборудования.

В таком случае возникает потребность использования фильтров. Существующие методы подавления гармоник (линейные реакторы, многопульсные схемы, резонансные или широкополосные пассивные и активные фильтры) зачастую недостаточно надежны, неэффективны и дорогостоящи. Для нашей системы выберем фильтр Линеатор фирмы «СПИК СЭМА»[12].

Инновационный фильтр Линеатор представляет собой передовую технологию в области пассивного подавления гармоник. Это устройство соответствует всем требованиям ГОСТ 13109 и стандарта IEEE STD, при этом имеет сопоставимые с другими устройствами габариты и стоимость. Входной фильтр изображен на рисунке 12.



Рисунок 12 - Входной фильтр Линеатор

Входной фильтр Линеатор обеспечивает подавление всех основных гармоник и позволяет достичь результатов, сопоставимых с эффективностью активных фильтров или многопульсных систем. В сравнительном анализе сопоставлены результаты испытаний на гармоники частотного преобразователя 45 кВт с различными пассивными способами подавления гармоник:

- позволяет уменьшить коэффициент искажения кривой тока более чем в 10 раз и получить значение коэффициента мощности, близкое к единице. Конечный результат представляет собой линейную нагрузку с некритичным, для подключенного электрооборудования, уровнем гармоник;
- пассивное устройство, имеющее принципиально новую конструкцию реактора и малогабаритный блок конденсатора. Благодаря этому обеспечивается подавление всех основных гармонических токов (включая радиочастотные помехи), генерируемых частотным преобразователем и иными трехфазными, 6-пульсными выпрямительными нагрузками. Полный коэффициент гармонических искажений тока составляет менее 8%, а зачастую не превышает 5%.

2.3.5. Выбор выходного фильтра

Выходной фильтр предназначен для подавления гармоник напряжения на выходе преобразователей частоты для улучшения синусоидальности кривой напряжения и тока на питаемом оборудовании. Применение выходных фильтров позволяет устранять перенапряжения на длинных кабельных линиях на выходе преобразователей частоты, а также снижает потери и старение изоляции трансформаторов, электродвигателей и кабелей, подключаемых к преобразователям частоты. В качестве выходного фильтра выбираем универсальный синусный фильтр SWF фирмы «СПИК СЭМА», который изображен на рисунке 13[13].



Рисунок 13 - Выходной синусный фильтр SWF

Технические характеристики выходного фильтра приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Технические характеристики выходного фильтра

Назначение	Для подключения к выходной цепи ШИМ-инверторов напряжения
Частота, Гц	От 5 до 70 Гц
Перегрузочная способность	200% в течение 10 сек
Подавляемые гармоники	Близкие к несущей частоте ШИМ модуляции (1700)
Искажения выходного напряжения, %	Не более 5% в диапазоне выходных рабочих частот преобразователя
КПД, %	> 98
Окружающая температура, °С	- 60 + 90

2.3.6. Выбор автоматического выключателя для силовых цепей

Для защиты двигателей от токов короткого замыкания, токов перегрузки применяются автоматические выключатели.

Выбор автоматического выключателя для двигателя вентилятора (1MG7318-6BA, $I_H = 293.314 \text{ A}$)

1. Определяем пусковой ток

$$I_{\text{ПУСК}} = 5 \cdot I_H = 5 \cdot 293.314 = 1466.57 \text{ A}$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{\text{КР}} = 1,25 \cdot I_{\text{ПУСК}} = 1,25 \cdot 1466.57 = 1833.2 \text{ A}$$

3. Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{\text{ЭМ}} \geq I_{\text{КР}} .$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 8, то есть

$$I_{\text{ЭМ}} = 8 \cdot I_{\text{НАВ}} = 8 \cdot 320 = 2560 \text{ A} ,$$

где $I_{\text{НАВ}} = 320 \text{ A}$ - номинальный ток автоматического выключателя.

$$2560 \text{ A} \geq 1833.2 \text{ A} .$$

4. Ток теплового расцепителя должен быть больше номинального тока электроприемника:

$$I_{\text{Т.Р.}} \geq I_H , \text{ то есть } 320 \text{ A} \geq 293.314 \text{ A} .$$

Для защиты двигателя вентилятора выбираем автоматический выключатель ВА 57 – 39 (320А) изображенный на рисунке 14.



Рисунок 14 - Автоматический выключатель ВА 57 – 39(320А)

2.3.7. Выбор автоматического выключателя для цепей управления

Основной нагрузкой для данного автоматического выключателя будут являться блоки питания. Выберем однофазный автоматический выключатель LR. Номинальный ток такого выключателя 10 А. Производитель Legrand.

2.3.8. Выбор магнитных пускателей

Пускатель электромагнитный – коммутационный электрический аппарат, предназначенный для пуска, остановки и защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором непосредственным подключением обмоток статора к сети и разрывом тока в них без предварительного ввода в цепь дополнительных сопротивлений.

Как к элементу систем автоматического управления к пускателям предъявляются высокие требования по износостойкости. Пускатели выпускаются в трех классах коммутационной износостойкости (А, Б и В).

Для пуска двигателя вентилятора необходимо использовать два неперевсивных магнитных пускателя. Один необходим для включения двигателя через преобразователь частоты. Его использование необязательно, но это обеспечит гальваническую развязку между двигателем и преобразователем частоты. Второй магнитный пускатель является байпасным переключателем. Выбираем магнитные пускатели серии KNL. Внешний вид изображен на рисунке 15.



Рисунок 15 - Магнитный пускатель серии KNL 400

Пускатели этой серии используются в различных системах автоматизации.

Основные технические характеристики магнитного пускателя представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Параметры магнитного пускателя

<i>Тип магнитного пускателя</i>	$I_{\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$	Исполнение по назнач. и наличию реле	$U_{\text{пит}}$ катушек
KNL400	320 А	380 В	неревверсивный, с реле перегрузки	24В

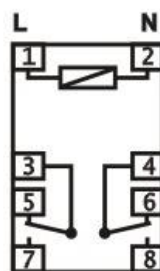
2.3.9. Выбор промежуточных реле

Для увеличения количества аппаратуры, подключенной к дискретным выводам программируемого логического контроллера и для «развязки» сигналов друг от друга необходимо применение промежуточных реле.

Выберем РК-2Р(24V) промежуточное электромагнитное реле. Схема подключения и внешний вид представлены на рисунке 16. Напряжение управления 24 В, коммутируемое напряжение 220 В[13].



Схема подключения:



Назначение контактов:

3-5 и 4-6 - нормально замкнутые контакты реле
 3-7 и 4-8 - нормально разомкнутые контакты реле
 Контакты 1(фаза) - 2 (ноль)- напряжение питания реле.

Рисунок 16 – Промежуточное электромагнитное реле РК-2Р(24V)

2.3.10. Выбор датчиков температуры

В системе охлаждения двигателя прокатного стана используется три датчика температуры. Каждый датчик монтируется в одну из трех фазных обмоток двигателя прокатного стана. Такое расположение датчиков позволяет определить более точное значение температуры. Для нашей системы охлаждения выбираем датчики температуры ТСП 90502 компании ОАО «Эталон». Такие датчики специально предназначены для измерения обмоток статора и ротора электродвигателей и устанавливаются в пазы. Датчик температуры ТСП 90502 изображен на рисунке 17[16].



Рисунок 17 - Датчик температуры ТСП 90502

Технические характеристики представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Технические характеристики датчика температуры

Температурный диапазон, °С	0 - 180
Время технической задержки, с	6
Материал корпуса	ДСВ-2
Наработка на отказ при верхнем значении температуры, ч	200000

2.3.11. Выбор нормирующего преобразователя

Нормирующие преобразователи необходимы для усиления, обработки и преобразования сигналов от первичных датчиков в унифицированные сигналы, а также линеаризации характеристики первичного преобразования. Для аналоговых сигналов такими являются, как правило, сигналы 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-1 В, 0-10 В. Для дискретных – сигналы TTL-уровня 0-5 В или 0-30 В. Нормирующий преобразователь для термодатчиков НПСИ-ТС предназначен для преобразования сигналов термометров сопротивления в унифицированный токовый сигнал 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА. Также, нормирующий усилитель НПСИ-ТС предназначен для совместной работы датчиков температуры. Внешний вид – рисунок 18[17].



Рисунок 18 - Преобразователь нормирующий НПСИ-ТС

Общие сведения о нормирующем преобразователе НПСИ-ТС:

- гальваническая изоляция между собой входов, выходов, питания прибора;

- индикация на передней панели уровня выходного сигнала на цифровом дисплее;
- программный выбор (конфигурирование) типа входного сигнала, диапазона преобразования и других функций с передней панели с помощью кнопок и цифрового светодиодного дисплея;
- диагностика и сигнализация аварийных ситуаций: обрыв датчика, выход параметра за пределы допустимого диапазона преобразования, целостность параметров в энергонезависимой памяти;
- ограничение доступа к конфигурированию с помощью пароля;
- компактный корпус, ширина 22,5 мм – экономия места в монтажном шкафу;
- разъемные винтовые клеммы обеспечивают простой монтаж;
- высокая точность преобразования 0,1 %;
- расширенный диапазон рабочих температур -40...70 °С;
- высокая температурная стабильность (0,0025 % / градус, 0,005 % / градус);
- диапазон напряжений питания 24...265 В.

2.3.12. Выбор кнопок и сигнальной аппаратуры

Для управления техпроцессом выбираем пост управления серии ПКЕ с тремя управляющими элементами и нишей для встройки ПКЕ 122-3У2 (рисунок 19)[15].



Рисунок 19 – Внешний вид ПКЕ.

Также выбираем светосигнальную арматуру АМЕ (рисунок 20) с лампой накаливания КМ-24 зеленого цвета (2 шт.) и красного цвета (3 шт.).



Рисунок 20 – Внешний вид АМЕ.

2.3.13. Выбор источников питания

В качестве источников питания для питания ПЛК, модулей расширения и управления катушками контакторов выбираем LOGO!POWER =24 В/ 2.5 А, 60 Вт 6EP1332-1SH42. Внешний вид представлен на рисунке 21.



Рисунок 21 – Блок питания LOGO!POWER

3. Расчет параметров электродвигателя

3.1. 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, показанная на рисунке 22.

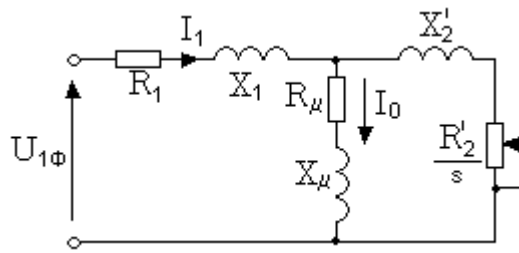


Рисунок 22 - Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

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

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

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

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным в соответствии с методикой. 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, то есть эффекты вытеснения не учитываются.

Определим номинальную частоту вращения, пользуясь выражением для номинального скольжения:

$$S_i = \frac{n_0 - n_i}{n_0} \quad (5)$$

отсюда: $n_1 = n_0 \cdot (1 - S_1) = 1000 \cdot (1 - 0.019) = 981 \text{ об/мин};$

Определим угловую синхронную скорость вращения ω_0 :

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 1000}{60} = 104.72 \text{ рад/с}; \quad (6)$$

Определим номинальную угловую скорость вращения ω_n :

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 981}{60} = 102.678 \text{ рад/с};$$

Определим номинальный ток цепи обмотки статора $I_{1н}$:

$$I_{1н} = \frac{P_1}{3 \cdot U_{1н} \cos \phi_1 \cdot \eta_1} = \frac{160000}{3 \cdot 220 \cdot 0.87 \cdot 0.95} = 293.314, \text{ А} \quad (7)$$

Определим ток статора при частичной нагрузке I_{11} :

$$I_{11} = \frac{P_* \cdot P_1}{3 \cdot U_{1н} \cos \phi_* \cdot \eta_*} \quad (8)$$

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% меньшей 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.

- 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 23 $\cos \phi_{0.75} / \cos \phi = 0.99$, тогда

$$\cos \phi_{p_*} = \cos \phi \left(\frac{\cos \phi_{0.75}}{\cos \phi} \right) = 0.87 \cdot 0.99 = 0.86$$

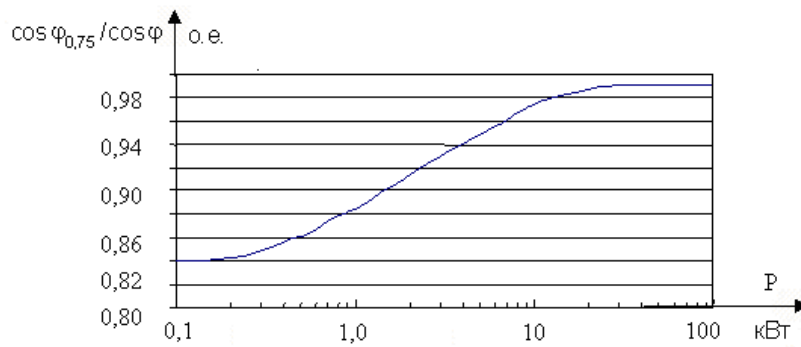


Рисунок 23 - Зависимость $\cos \varphi_{0.75} / \cos \varphi_H$ от мощности асинхронного двигателя

$$I_{11} = \frac{P_* P_H}{3 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_* \eta_*} = \frac{0.75 \cdot 160000}{3 \cdot 220 \cdot 0.861 \cdot 0.95} = 222.208 \text{ А; (9)}$$

Определим ток холостого хода I_0 :

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{P_* \cdot I_{11} \cdot (1 - S_i)}{(1 - P_* \cdot S_i)} \right)^2}{1 - \left(\frac{P_* \cdot (1 - S_i)}{(1 - S_i \cdot P_*)} \right)^2}} \quad (9)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{222.208^2 - \left(0.75 \cdot 293.314 \frac{(1 - 0.019)}{(1 - 0.75 \cdot 0.019)} \right)^2}{1 - \left(0.75 \frac{(1 - 0.019)}{(1 - 0.75 \cdot 0.019)} \right)^2}} = 57.175 \text{ А;}$$

Определим значение активного сопротивления цепи ротора, приведенного к обмоткам статора R_2' :

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_K} \right) \cdot C_1} \quad (10)$$

Значение коэффициента β находится в диапазоне $0.6 \div 2.5$, поэтому в первом приближении принимаем $\beta=1$;

S_K – критическое скольжение

$$S_K = S_H \cdot \frac{K_{\max} + \sqrt{(K_{\max})^2 - (1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (K_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (K_{\max} - 1)} \quad (11)$$

$$S_k = 0.019 \cdot \frac{2.3 + \sqrt{2.3^2 - (1 - 2 \cdot 0.019 \cdot 1 \cdot (2.3 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0.019 \cdot 1 \cdot (2.3 - 1)} = 0.088 \text{ o.e.};$$

Определим коэффициент пропорциональности C_1 :

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{57.175}{2 \cdot 6.6 \cdot 293,314} = 1.015 \text{ o.e.}; \quad (12)$$

Определим значение A_1 :

$$A_1 = m \cdot U_{1H}^2 \cdot \frac{(1 - S_H)}{2 \cdot C_1 \cdot K_{max} \cdot P_H} = 3 \cdot 220^2 \cdot \frac{(1 - 0.019)}{2 \cdot 1.015 \cdot 2.3 \cdot 160000} = 0.191 \text{ Ом}; \quad (13)$$

и тогда, активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k}\right) \cdot C_1} = \frac{0.191}{\left(1 + \frac{1}{0.088}\right) \cdot 1.015} = 0.0151 \text{ Ом}; \quad (14)$$

Определим активное сопротивление цепи статора R_1 :

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1.015 \cdot 0.0151 \cdot 1 = 0.0154 \text{ Ом}; \quad (15)$$

Определим значение индуктивного сопротивления короткого замыкания X_k :

$$X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2^I \quad (16)$$

Найдем параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление X_k :

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.088}\right)^2 - 1^2} = 11.371 \text{ o.e.}; \quad (17)$$

тогда $X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 11.371 \cdot 1.015 \cdot 0.0151 = 0.175 \text{ Ом};$

Определим индуктивное сопротивление ротора, приведенное к обмоткам ротора X_2' :

$$X_2 = \frac{0.58 \cdot X_k}{C_1} = \frac{0.58 \cdot 0.175}{1.015} = 0.1 \text{ Ом}; \quad (18)$$

Определим индуктивное сопротивление статора X_1 :

$$X_1 = 0.42 \cdot X_k = 0.42 \cdot 0.175 = 0.073 \text{ Ом};$$

Значение критического скольжения определим по следующему выражению:

$$S_k = C_1 \cdot \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = 1.015 \cdot \frac{0.0151}{\sqrt{0.0154^2 + 0.175^2}} = 0.088 \text{ о.е.}; \quad (19)$$

Данное значение критического скольжения совпадает с рассчитанным выше. ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме определяется по формуле:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos \phi - R_1 \cdot I_{1н})^2 + (U_{1н} \sin \phi - X_1 I_{1н})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0.92 - 0.0154 \cdot 293,314)^2 + (220 \cdot 0.493 - 0.073 \cdot 293,314)^2} = 206.131 \\ X_{\mu н} &= \frac{E_1}{I_0} = \frac{206.131}{57.175} = 3.605 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (20)$$

Расчетные параметры схемы замещения сведены в таблицу 6. Используя параметры схемы замещения, можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик.

Таблица 6 - Расчетные параметры схемы замещения АД

$R_1, \text{Ом}$	$R_2', \text{Ом}$	$X_{кн}, \text{Ом}$	$X_{1н}, \text{Ом}$	$X_{2н}', \text{Ом}$	$X_{\mu н}, \text{Ом}$
0.0154	0.0151	0.175	0,073	0,1	3.605

3.2. Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя определяется следующим выражением[3]:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu н}} \right)^2 \right]} = \quad (21)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.0151}{104.72 \cdot s \left[0.175^2 + \left(0.0154 + \frac{0.0151}{s} \right)^2 + \left(\frac{0.0154 \cdot 0.0151}{s \cdot 3.605} \right)^2 \right]}$$

Расчеты проведем с помощью программы Mathcad.

Естественная механическая характеристика двигателя приведена на рисунке 24.

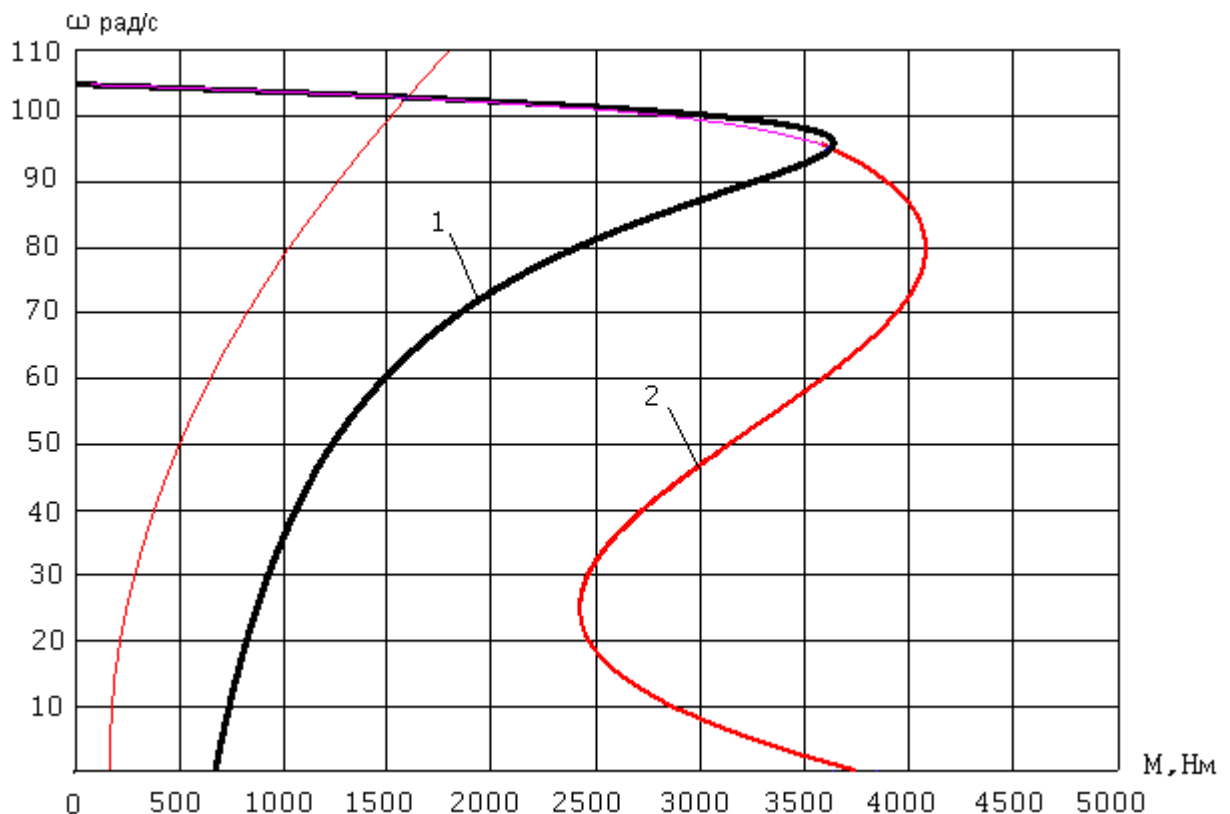


Рисунок 24 - Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $M = f(\omega)$.

На рисунке 24 представлены две механические характеристики двигателя. Характеристика 1 получена по расчетным данным. Характеристика 2 построена по каталожным значениям для выбранного двигателя. Из данного графика видно, что характеристики, полученные по расчетным данным и по данным каталога, имеют различия. Это можно объяснить следующим:

происходит насыщение зубцов ротора, вследствие чего уменьшается индуктивное сопротивление рассеяния x_{σ}'' . При неподвижном роторе частота тока, определяемая выражением $f_2 = f_1 \cdot s$, высока, а так как $s = 1$, то и $f_2 = 50$ Гц. В этом случае имеет место «скин-эффект», когда при больших частотах происходит процесс вытеснения тока на поверхность проводника ротора. Эффективное сечение проводников ротора уменьшается и как следствие, происходит увеличение активного сопротивления r_2' . Данные процессы не принимаются во внимание.

В соответствии с паспортными данными электродвигателя:

$$M_i = \frac{D_i}{\omega_i} = \frac{160000}{102.73} = 125687 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (22)$$

Выражение для расчета электромеханической характеристики имеет вид:

$$I_1(\omega) = \frac{U_{1i}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega}\right)^2 + (X_{1i} + X_{2i}')^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0.0154 + \frac{0.0151}{\omega_0 - \omega}\right)^2 + (0.073 + 0.1)^2}} \quad (23)$$

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

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi} = \sqrt{57.175^2 + I_2'^2 + 2 \cdot 57.175 \cdot \sin \varphi},$$

Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя $I_1 = f(\omega)$ приведена на рисунке 25.

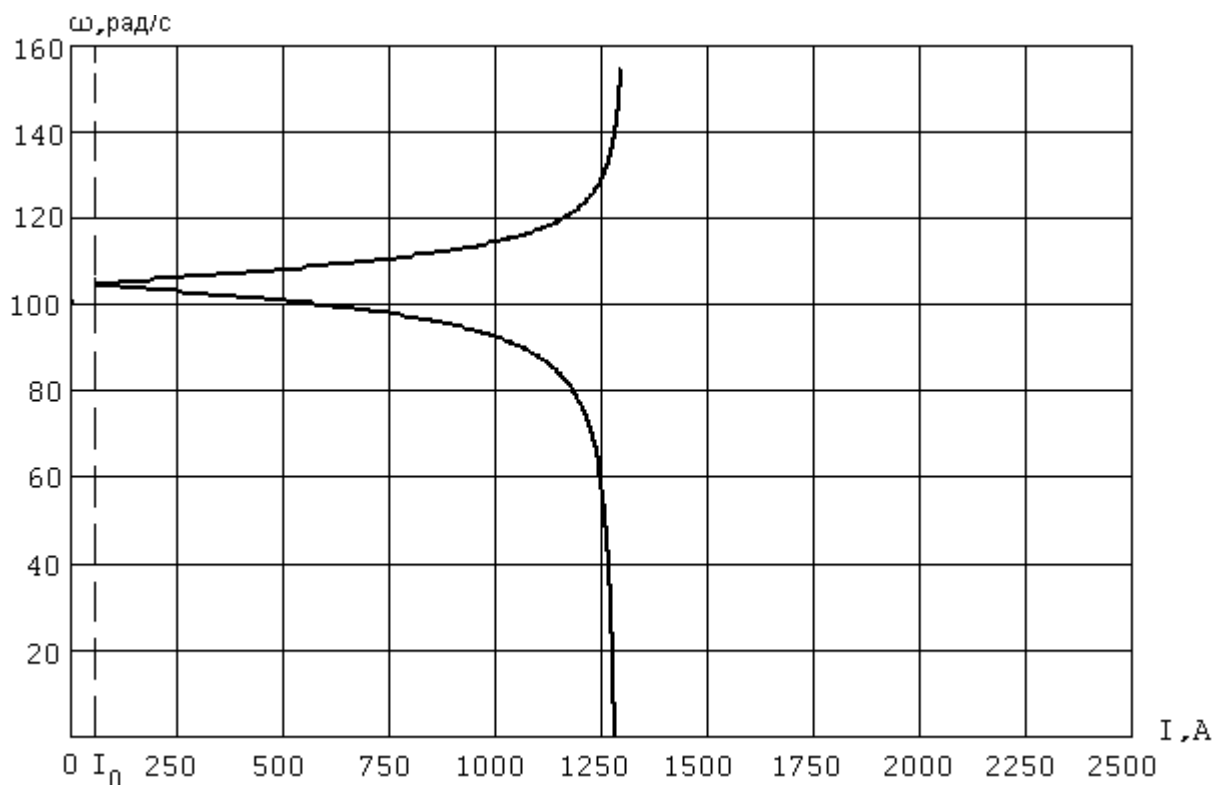


Рисунок 25 - Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя $I_1 = f(\omega)$

3.3. Статические характеристики вентилятора при регулировании

скорости по закону регулирования $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$

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 $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$, то есть на величину падения напряжения на сопротивлении R_1 [7].

Для расчета электромеханических характеристик необходимо задаваться различными значениями частоты питающего напряжения обмоток статора $f_{нj}$. Зададимся несколькими значениями питающего напряжения и рассчитаем относительные значения частоты питающего напряжения по формуле:

$$f_j^* = \frac{f_{nj}}{f_n} \quad (24)$$

Для поддержания отношения $U/f^2 = \text{const}$, необходимо изменять напряжение, которое определяется по формуле:

$$U_{nj} = 0,088 \cdot f_{nj}^2$$

Зависимость напряжения от частоты представлена на рисунке 26.

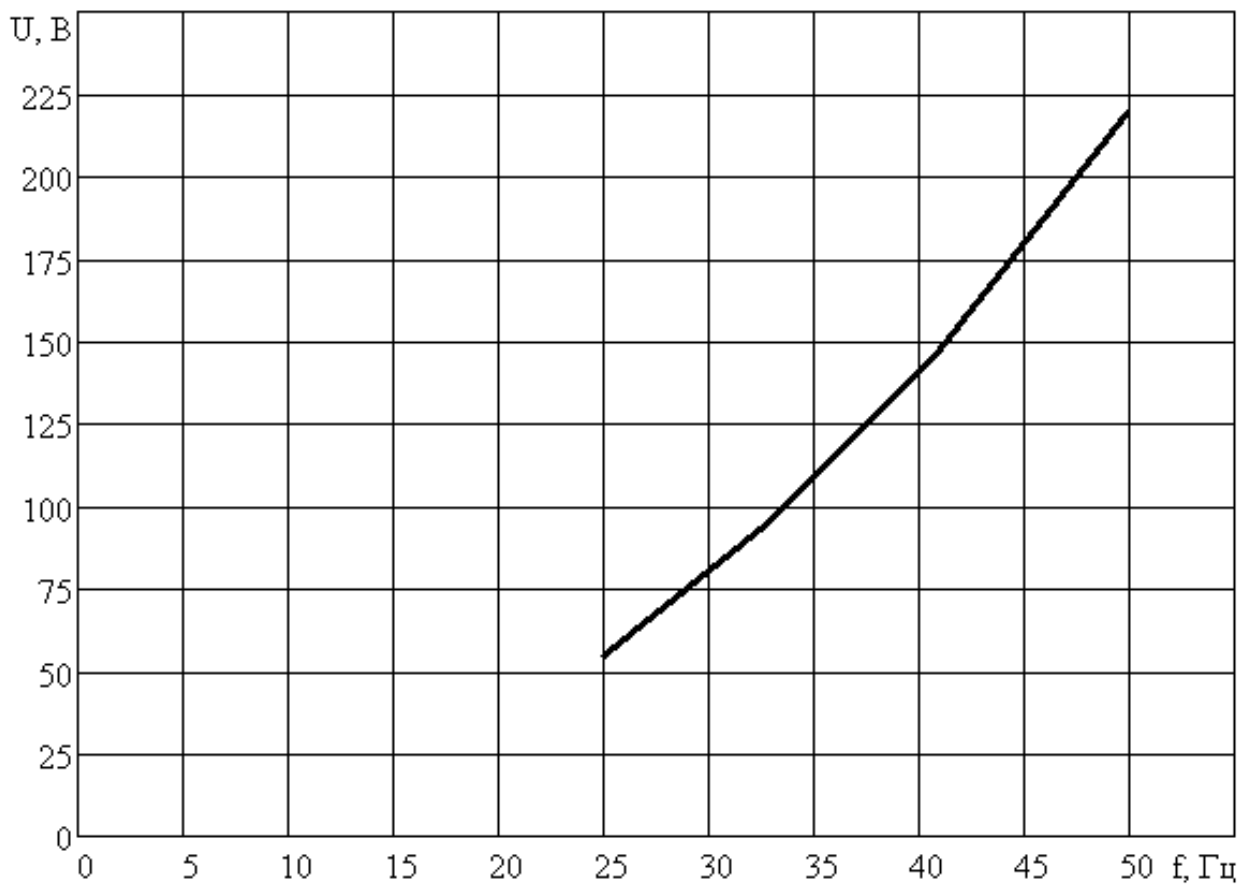


Рисунок 26 – Зависимость выходного напряжения от частоты

Также, необходимо определить скорость на регулировочных характеристиках. Она определяется по формуле:

$$\omega_j = \omega_0 \cdot f_j^* \quad (25)$$

Полученные результаты расчетов четырех значений частоты, напряжения и скорости внесем в таблицу 7.

Таблица 7 - Расчетные параметры для электромеханических характеристик

$f_{Hj}, \text{Гц}$	f_j^*	$U_j, \text{В}$	$\omega_j, \text{рад/с}$
50	1	220	104.72
41	0.82	147.93	88.87
33	0.66	95.83	69.115
25	0.5	55	52.36

Электромеханические характеристики, определяющие зависимость приведенного тока ротора от скольжения определяются выражением:

$$I_1(s) = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s_j}\right)^2 + X_K^2 \cdot f_1^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s_j \cdot X_\mu \cdot f_1}\right)^2}}, \quad (26)$$

где: $s_j = \frac{\omega_0 - \omega_j}{\omega_0}$ – относительное скольжение.

Пример расчета для электромеханической характеристики при $S = 1$, $R_1 = 0.0154 \text{ Ом}$, $f_1^* = 1$:

$$I_1(s) = \frac{220}{\sqrt{\left(0.0154 + \frac{0.0151}{1}\right)^2 + 0.175^2 \cdot 1^2 + \left(\frac{0.0154 \cdot 0.0151}{1 \cdot 3.605 \cdot 1}\right)^2}} = 1241 \text{ А}$$

Электромеханические характеристики работы асинхронного двигателя на разных скоростях представлены на рисунке 27.

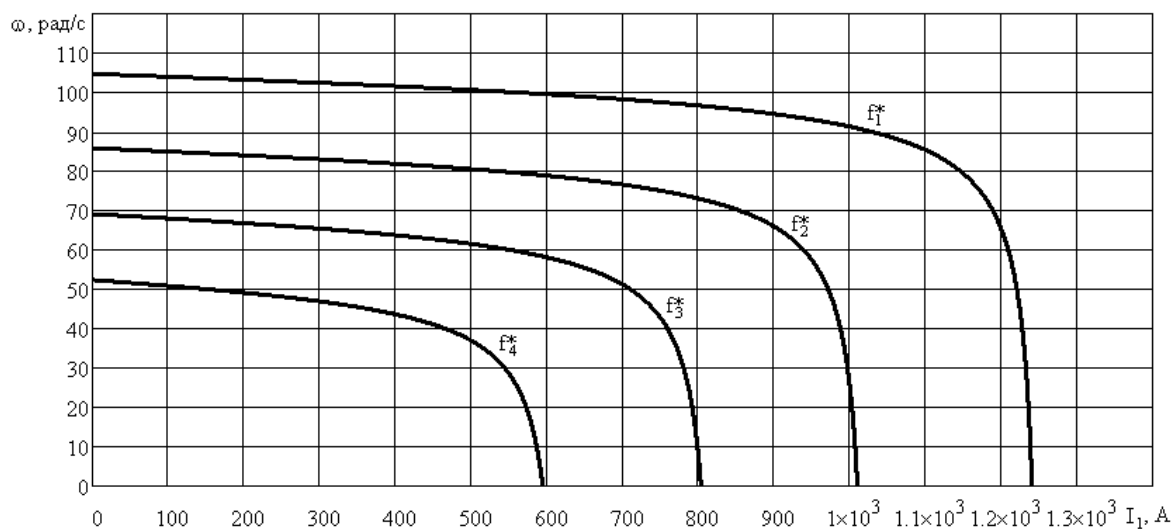


Рисунок 27 - Электромеханические характеристики $I_1 = f(s)$

Рассчитаем механические характеристики АД $M = f(s)$ при различных значениях частот обмоток статора:

Выражение для расчета механической характеристики имеет вид:

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

Пример расчета для критического скольжения и критического момента при $R_1 = 0.0154 \text{ Ом}$, $f_1^* = 1$. Критическое скольжение находится по формуле:

$$S_{кр} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_1^{*2}} \right) + 1}{R_1^2 + (X_1 + X_2') \cdot f_1^{*2}}} \quad (27)$$

$$S_{кр} = 0.0154 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{0.0154^2}{0.175^2 \cdot 1} \right) + 1}{0.0154^2 + (0.073 + 0.1)^2 \cdot 1}} = 0.088$$

Критический момент определяется по формуле:

$$M_{кр} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[R_1 + \sqrt{\left(R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2 \cdot f_{1*}^2 \right) \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_l^{*2}} \right)} \right]} \quad (28)$$

$$M_{кр} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 102.73 \cdot \left[0.015 + \sqrt{\left(0.0154^2 + (0.073 + 0.1)^2 \cdot 1 \right) \cdot \left(1 + \frac{0.0154^2}{3.605} \right)} \right]} = 3737 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Полученные механические характеристики, различных значениях частоты питающего напряжения обмоток статора представлены на рисунке 28.

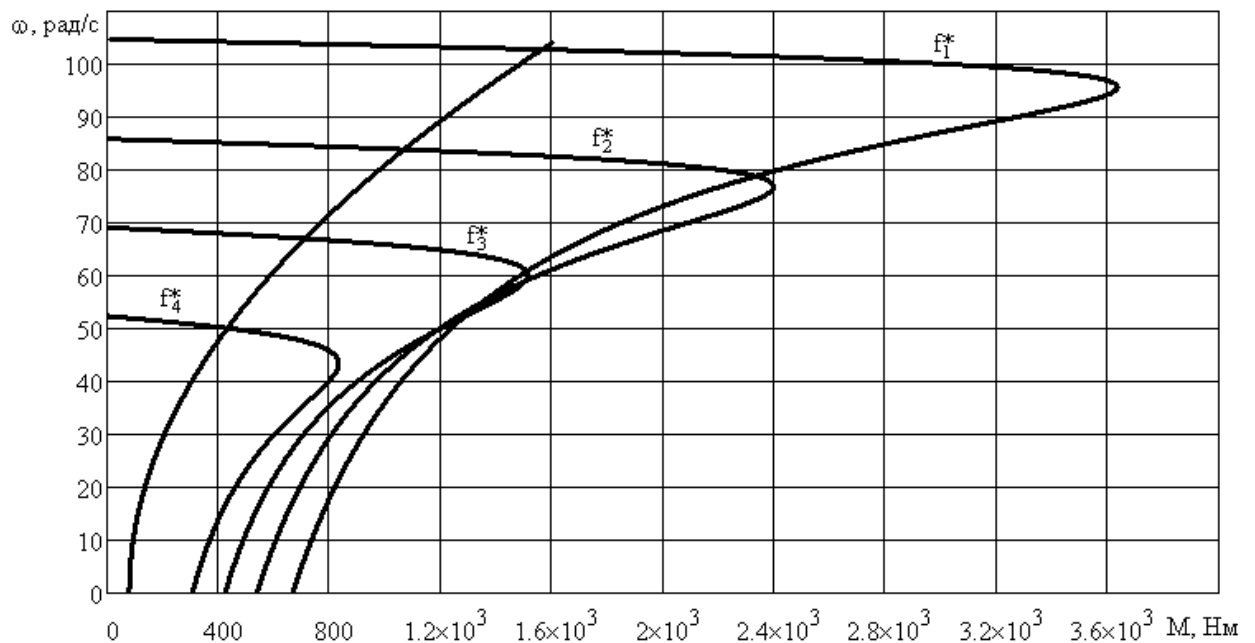


Рисунок 28 - Механические характеристики $M=f(s)$

При построении электромеханических характеристик при пониженном напряжении, напряжение на обмотках статора определяем методом последовательного приближения и увеличения так, чтобы электропривод работал при пониженных частотах.

4. Исследование работы привода вентилятора микропроцессорной системы регулирования температуры двигателя прокатного стана в среде моделирования MATLAB Simulink

4.1. Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска и наброса нагрузки на валу двигателя

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы MATLAB Simulink. Для создания имитационной модели найдем следующие параметры двигателя[10].

Индуктивность фазы обмотки статора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,073}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00023 \text{ Гн} \quad (29)$$

Индуктивность фазы обмотки ротора:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00032 \text{ Гн} \quad (30)$$

Индуктивность цепи намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{3,605}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0115 \text{ Гн} \quad (31)$$

Имитационная модель изображена на рисунке 29.

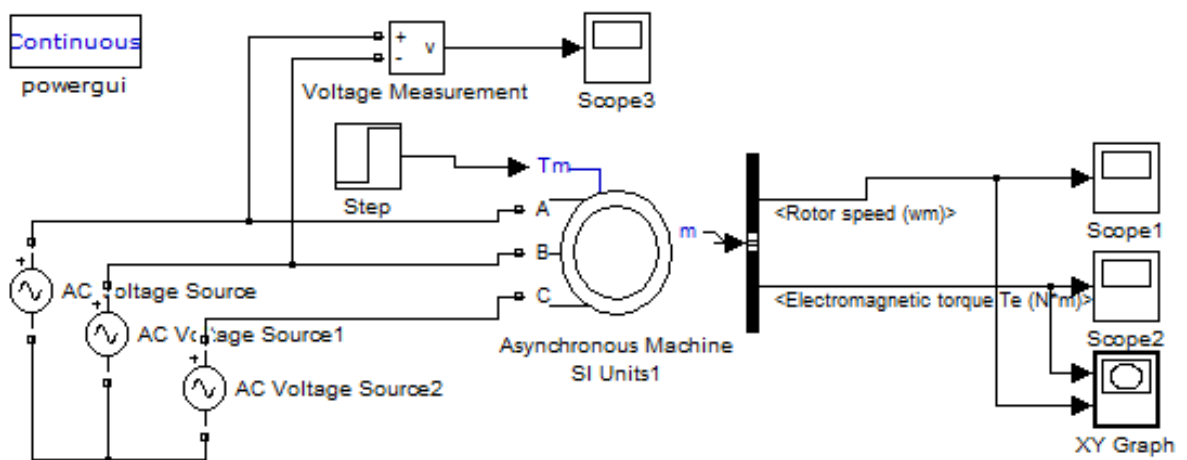


Рисунок 29 - Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

Ниже, на рисунках 31- 33 представлены переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая характеристика при прямом пуске АД с последующим набросом нагрузки. Величина нагрузки соответствует максимальному моменту нагрузки при работе вентилятора на максимальной частоте в данной системе.

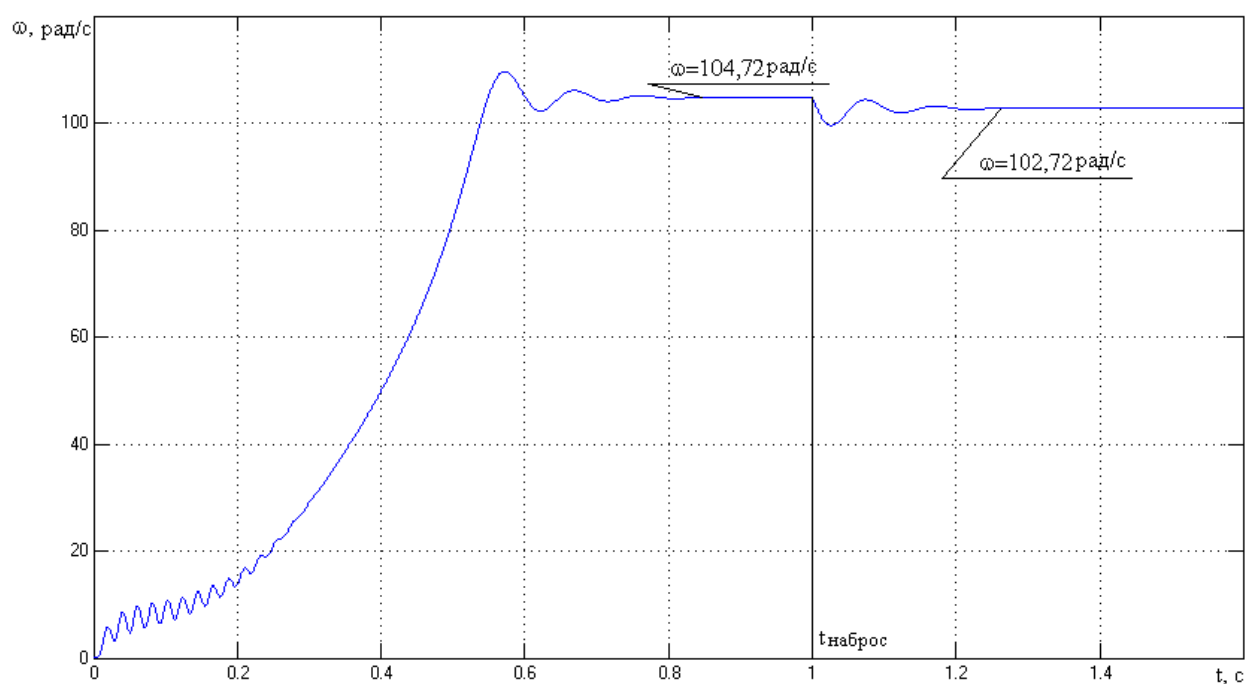


Рисунок 30 – Переходная характеристика скорости вращения двигателя

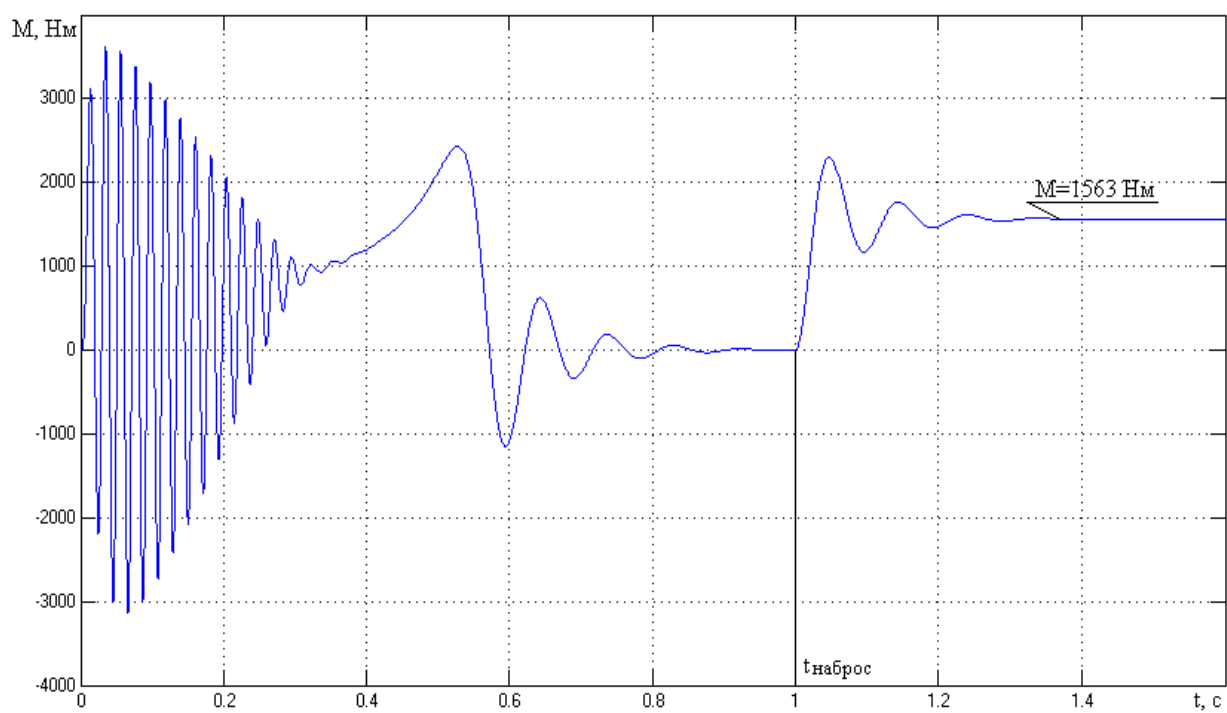


Рисунок 31 – Переходная характеристика момента двигателя

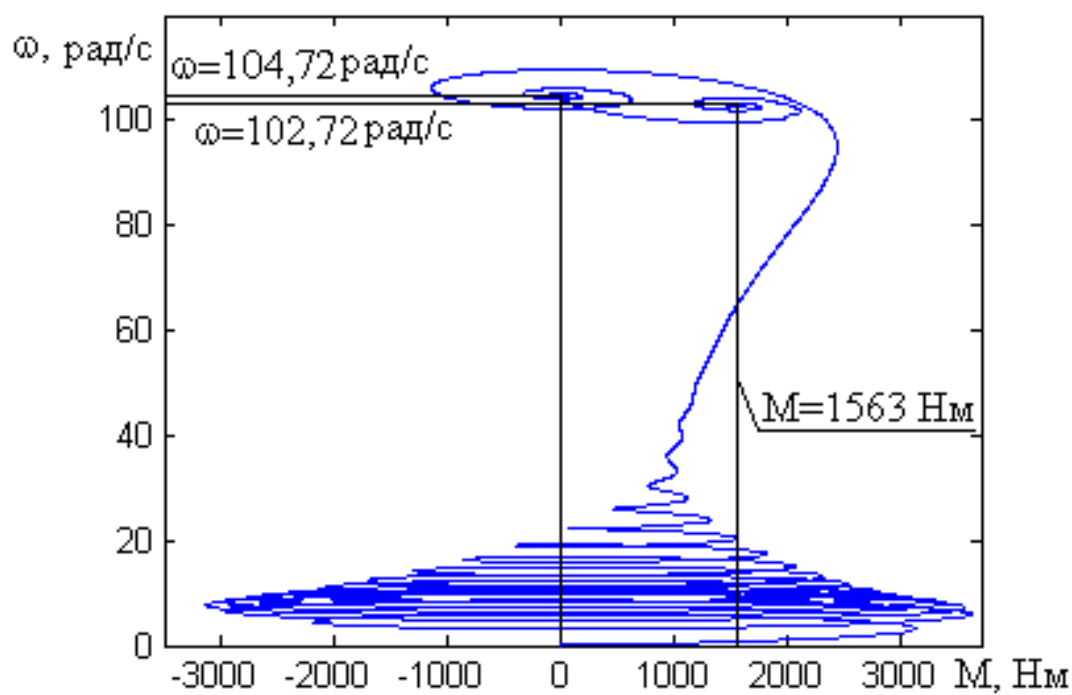


Рисунок 32 – Динамическая характеристика двигателя

4.2. Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска с вентиляторной нагрузкой на валу двигателя замкнутой системы “преобразователь частоты – асинхронный двигатель”

На практике наибольшее распространение получили такие способы частотного регулирования скорости как $E_{1j} / f_{1j} = const$, $E_{1j} / f_{1j}^2 = const$, $E_{1j} / \sqrt{f_{1j}} = const$. Структурная схема системы скалярного частотного управления приведена на рисунке 33[4].

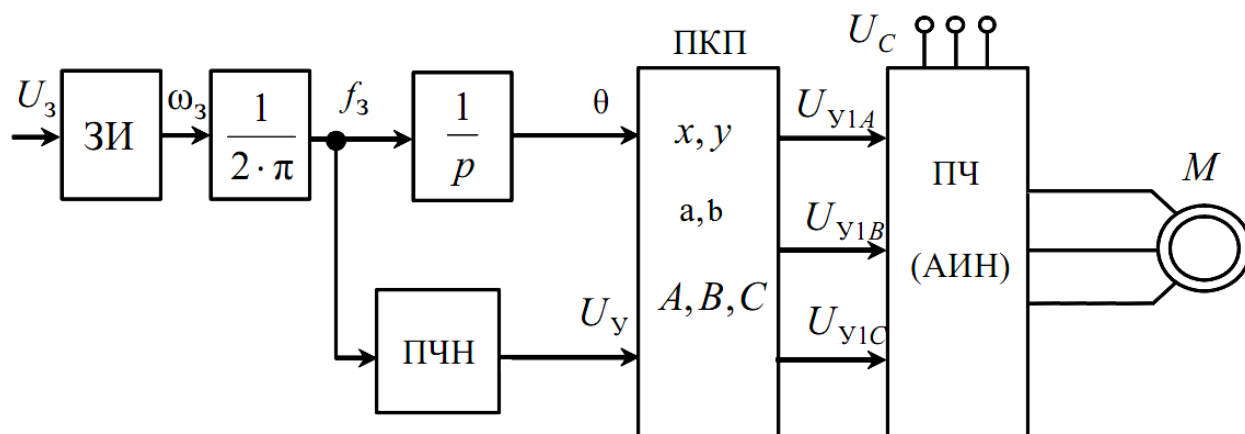


Рисунок 33 – Структурная схема частотного управления

Задатчик интенсивности формирует кривую и темп разгона двигателя. При дистанционном управлении электроприводом сигналом задания скорости является задающее напряжение U_3 . Ему соответствует задающая частота f_3 местного управления, в этом случае управление пуском и остановом двигателем производится с панели преобразователя. Блок “преобразователь частота – напряжение” ПЧН формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя, чем и устанавливается принятый закон частотного регулирования $E_{1j} / f_{1j}^2 = const$.

Сигнал управления является входным для прямого координатного преобразователя (ПКП), на выходе которого формируется три синусоидальных напряжения управления, $U_{y1A}, U_{y1B}, U_{y1C}$ сдвинутые относительно друг друга на угол $\pm 2\pi/3$, с амплитудами пропорциональными напряжению управления.

Сигналы $U_{y1A}, U_{y1B}, U_{y1C}$ формируют фазные напряжения на выходе автономного инвертора напряжения (АИН).

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 33, составим имитационную модель привода. Для этого определим передаточные функции входящих в нее блоков. На рисунке 34 представлена математически рассчитанная кривая зависимости $U_{1j} / f_{1j}^2 = const$. Анализ показывает, что подавать напряжение меньше 15 В нецелесообразно, так как оно практически не возрастает, значит скорость также близка к постоянному значению, поэтому минимальное напряжение равно 15 В.

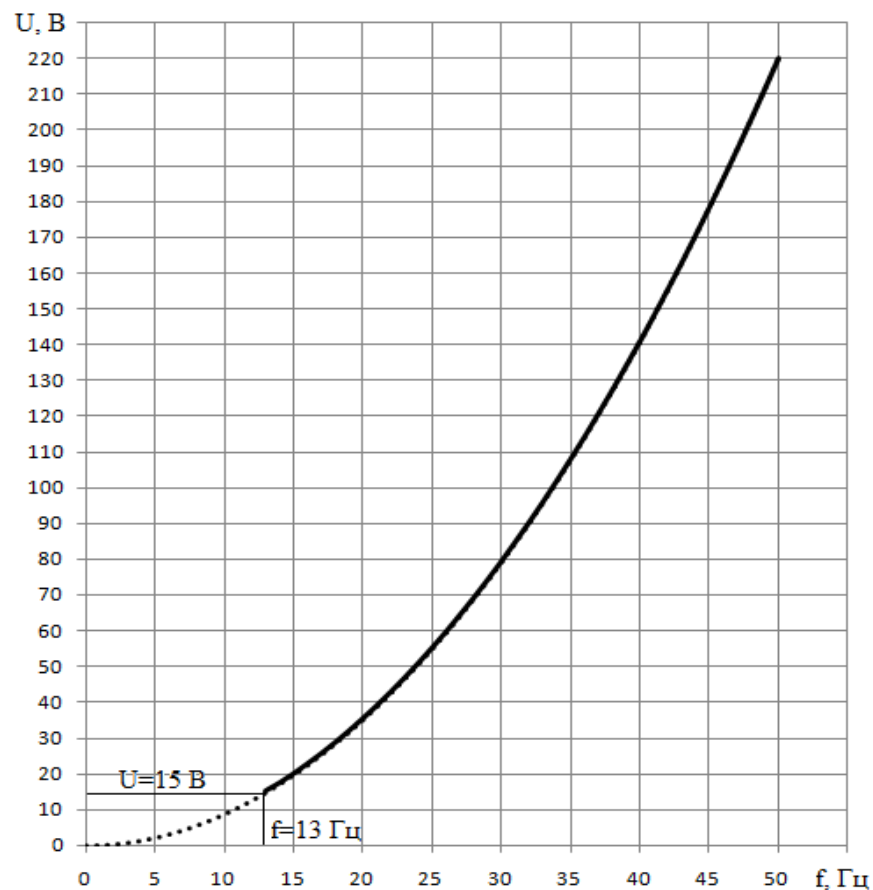


Рисунок 34 -Кривая зависимости U_{1j} / f_{1j}^2

Инвертор напряжения представим аperiodическим звеном. Его передаточная функция:

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин}}{T_{ин} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0001 \cdot p + 1}, \quad (32)$$

где $k_{ин} = 1$ - коэффициент передачи инвертора;

$$T_{ин} = \frac{1}{f_{нч}} = \frac{1}{10000} = 0,00001 - \text{постоянная времени запаздывания автономного}$$

инвертора напряжения,

где $f_{нч} = 10000 \text{ Гц}$ - несущая частота инвертора.

Положительная обратная связь по току представляется аperiодическим звеном:

$$W_{om}(p) = \frac{k_{км}}{T_{км} \cdot p + 1} = \frac{0,1}{0,001 \cdot p + 1}, (33)$$

где $k_{км}$ - коэффициент положительной обратной связи по току, примем $k_{км} = 0,1$

;

$T_{км}$ - постоянная времени задержки контура тока, время достаточное для определения мгновенного значения тока статора асинхронного двигателя с современными контроллерами составляет $T_{км} = 0,001$.

Имитационная модель изображена на рисунке 35. Модели входящих в нее блоков представлены на рисунках 36 - 38.

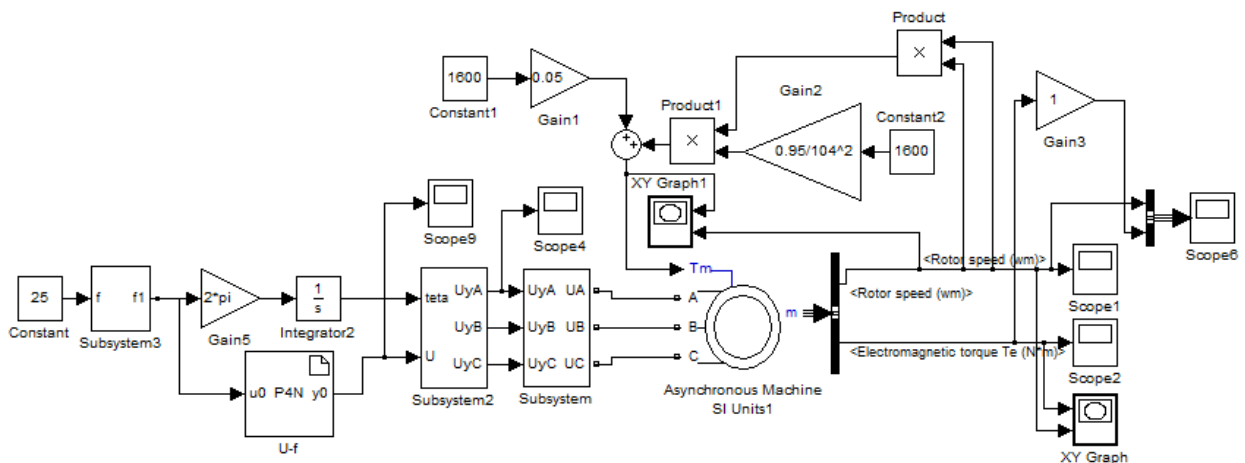


Рисунок 35 - Имитационная модель замкнутой системы ПЧ-АД

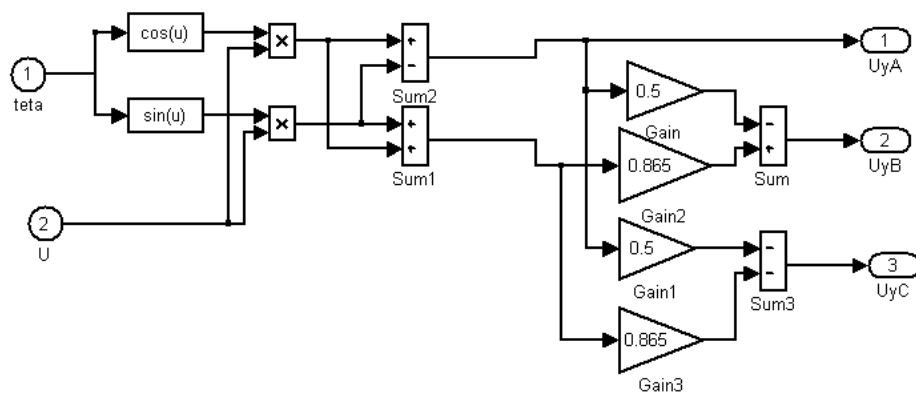


Рисунок 36 - Имитационная модель прямого координатного преобразователя

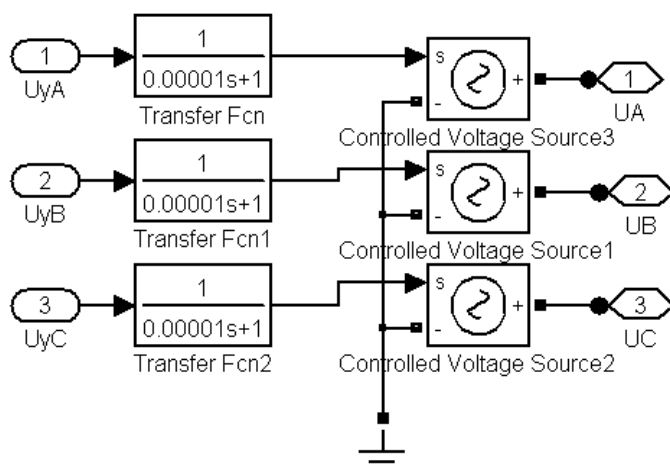


Рисунок 37 - Имитационная модель преобразователя частоты

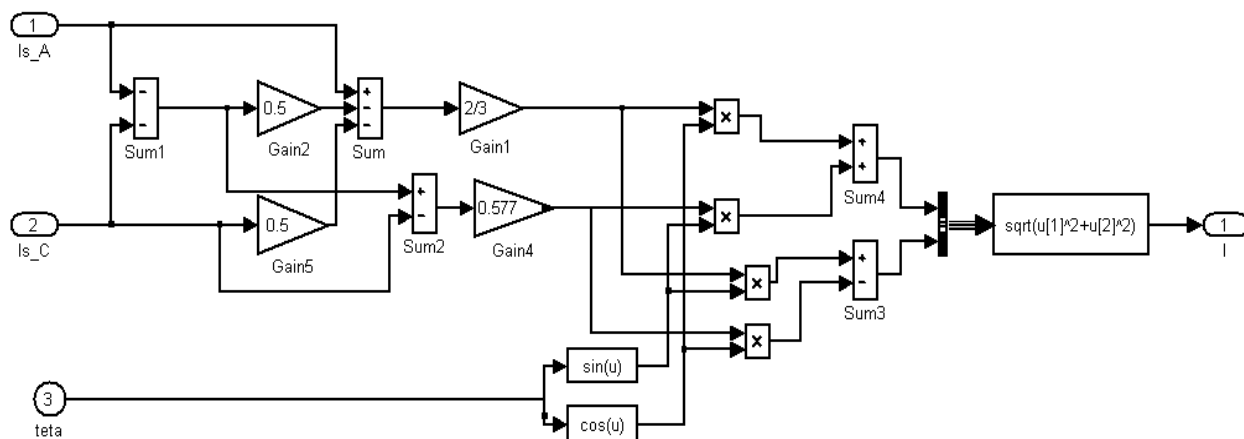


Рисунок 38 - Имитационная модель обратного координатного преобразователя

В процессе работы при аварии основного привода система переходит на работу на резервный привод вентилятора. При этом привод получает задание на

фиксированную скорость, на которой до аварии работал основной привод вентилятора. Рассмотрим пуск и работу резервного привода на фиксированной скорости, например при частоте питающего напряжения 33 Гц[5].

Характеристики переходных процессов скорости и момента, а также динамическая характеристика представлены на рисунках 39 - 41.

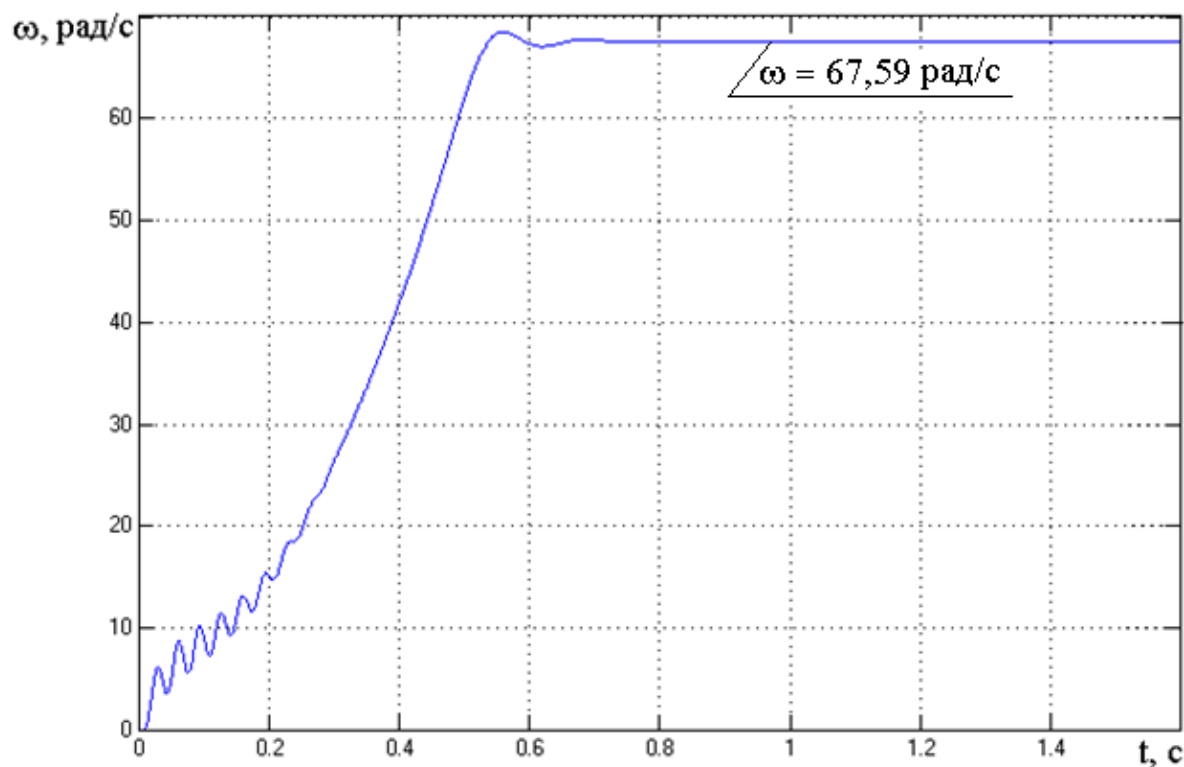


Рисунок 39 - Переходная характеристика скорости вращения двигателя

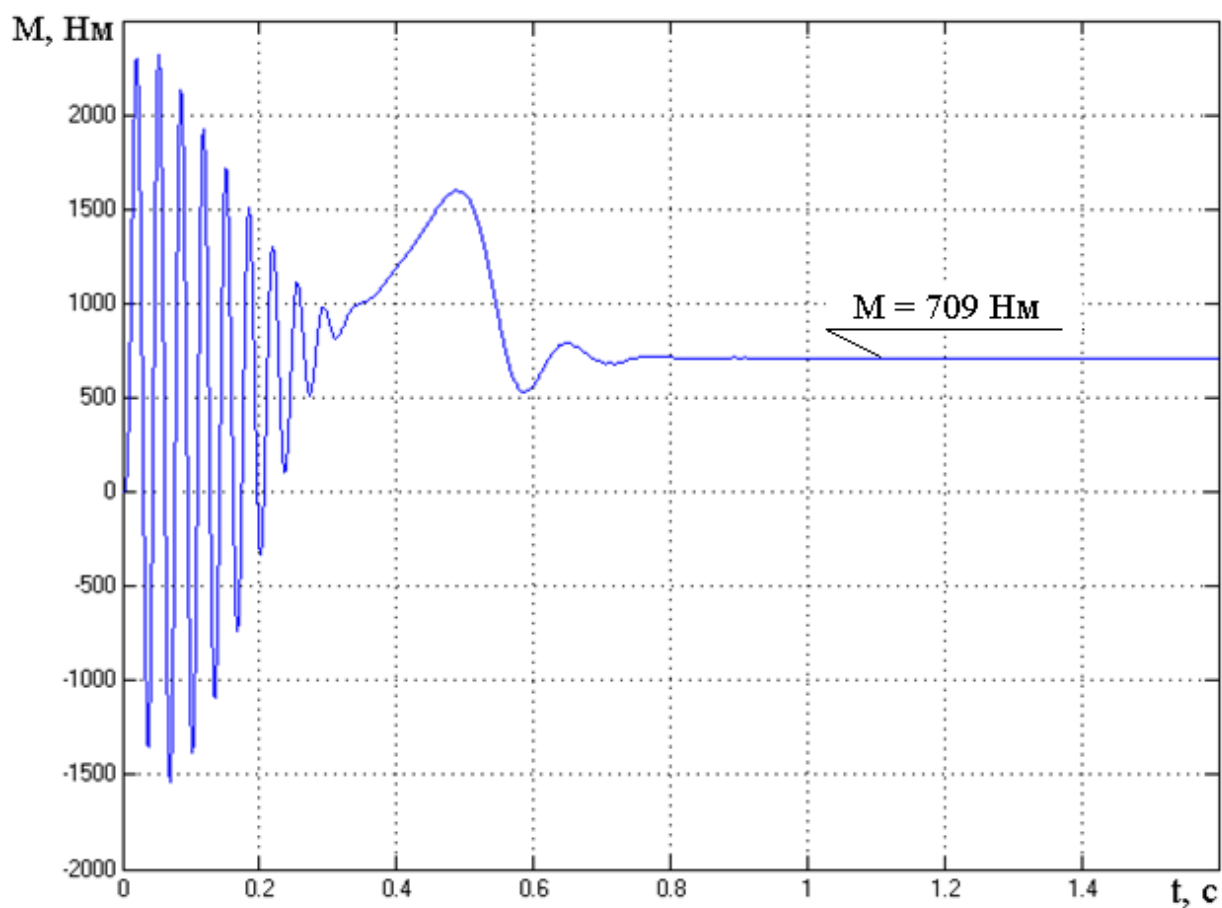


Рисунок 40 - Переходная характеристика момента двигателя

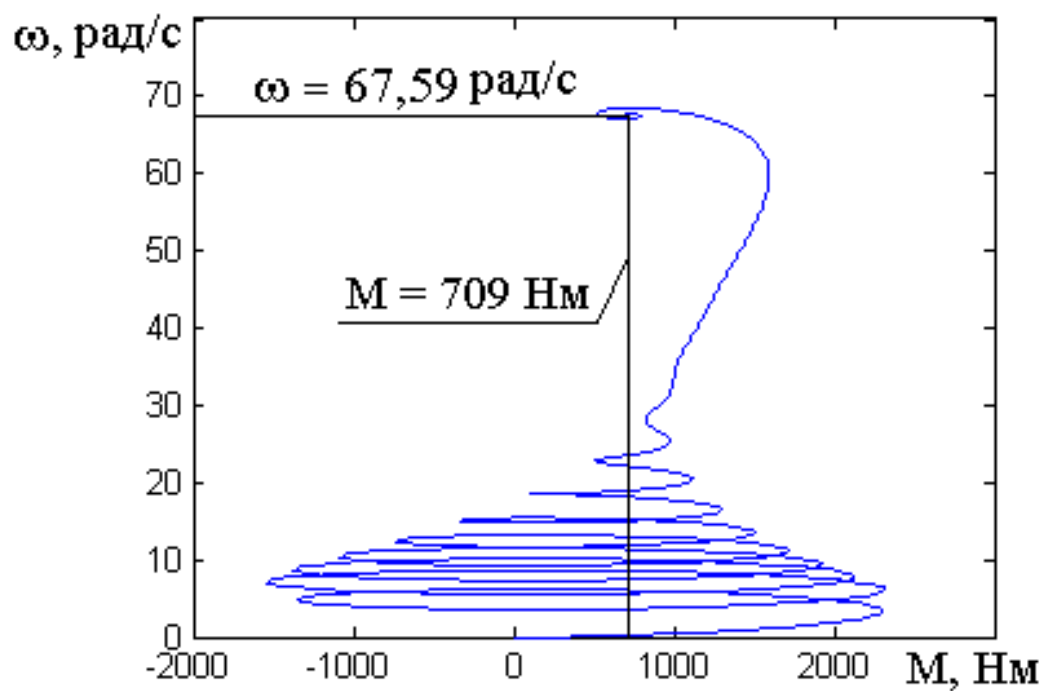


Рисунок 41 - Динамическая характеристика двигателя

Рассмотрим пуск двигателя и работу на всех заданных скоростях вращения и переход с одной частоты на другую. Переход с одной частоты на другую обусловлен повышением температуры охлаждаемого двигателя прокатного стана до установившегося значения. Микропроцессорная система формирует задание для ПЧ в зависимости от информации с датчиков температуры. Реализация изменения задания для ПЧ отображена на рисунке 42.

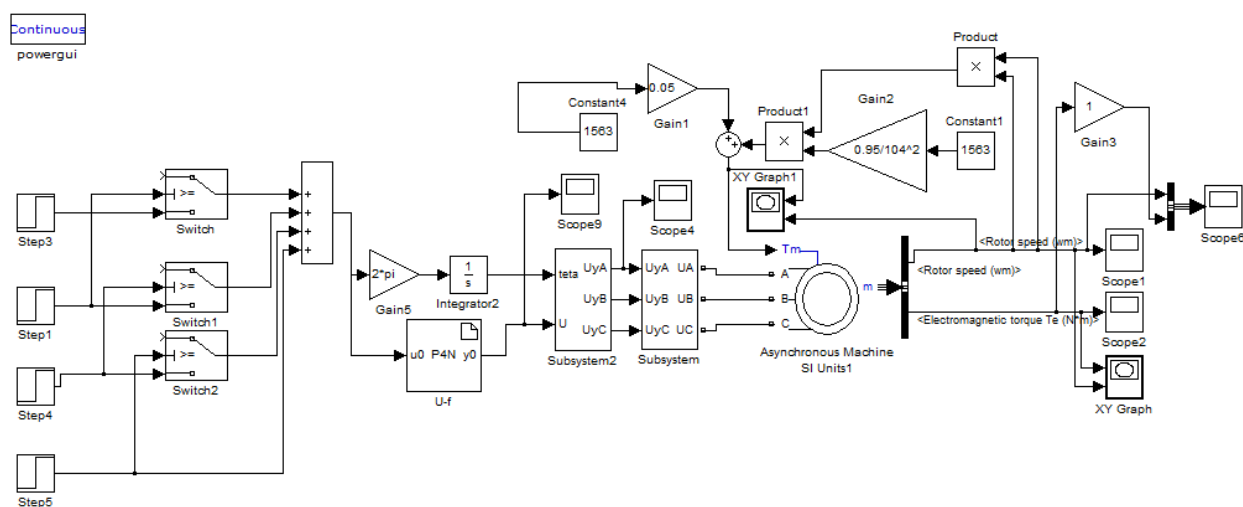


Рисунок 42 - Имитационная модель замкнутой системы ПЧ-АД

На рисунках 43 - 45 изображены переходные характеристики скорости ротора, электромагнитного момента АД и динамическая механическая характеристик.

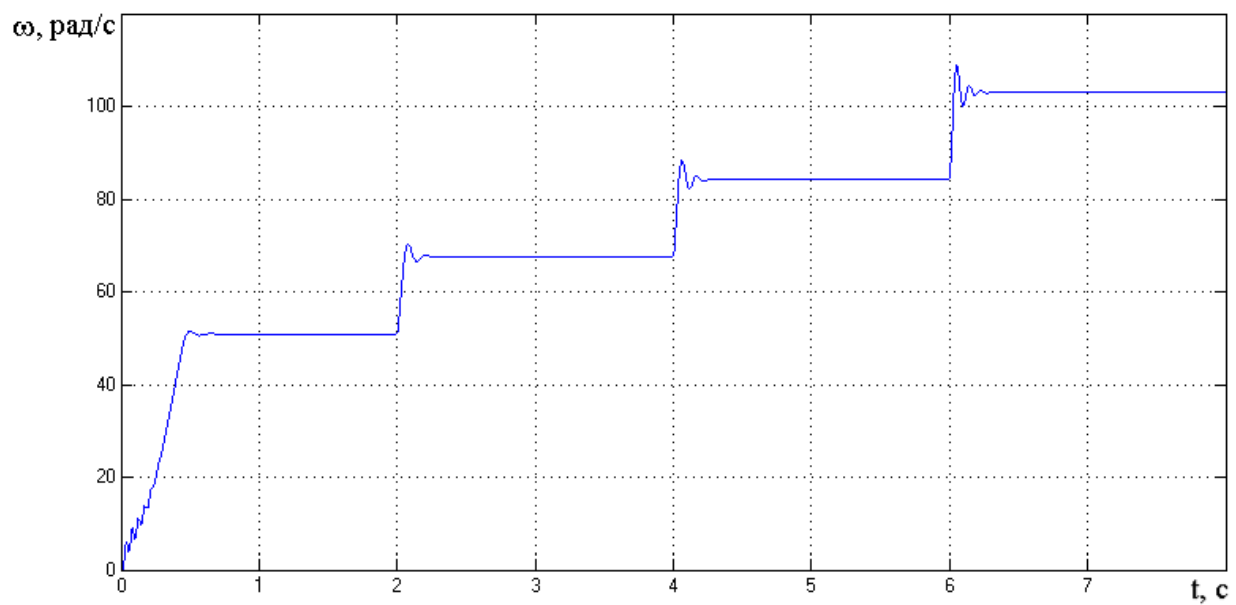


Рисунок 43 - Переходная характеристика скорости вращения двигателя

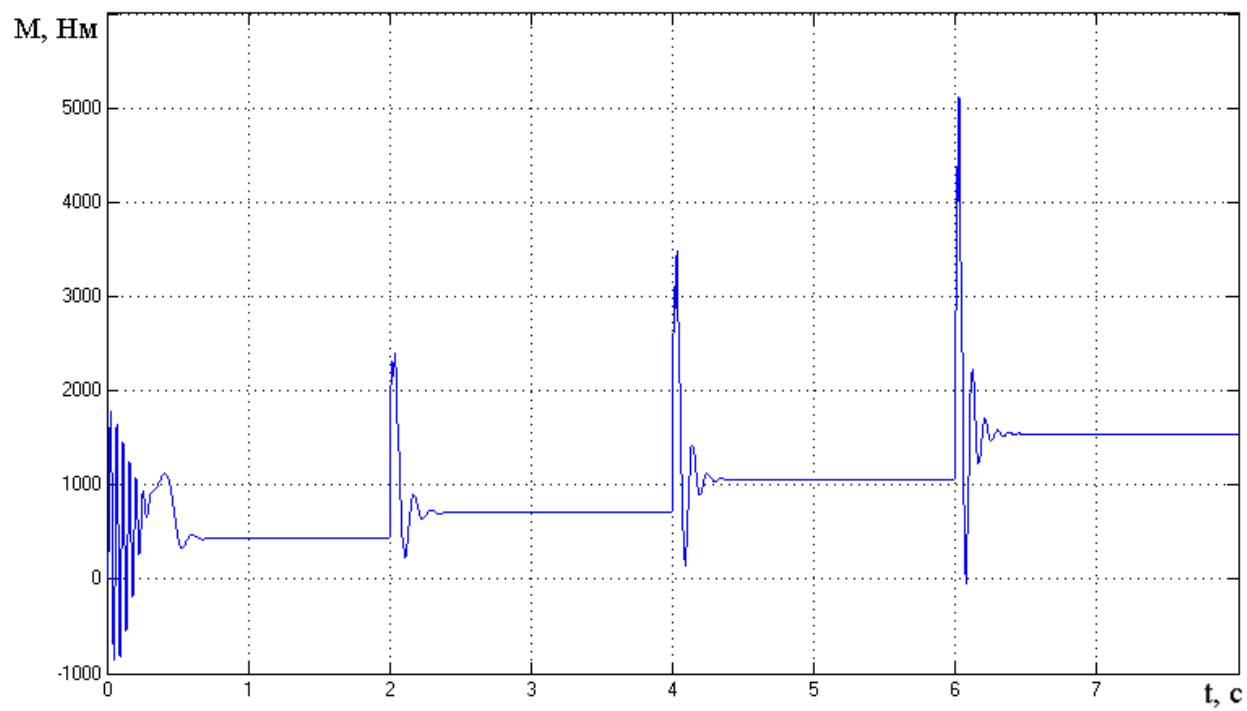


Рисунок 44 - Переходная характеристика момента двигателя

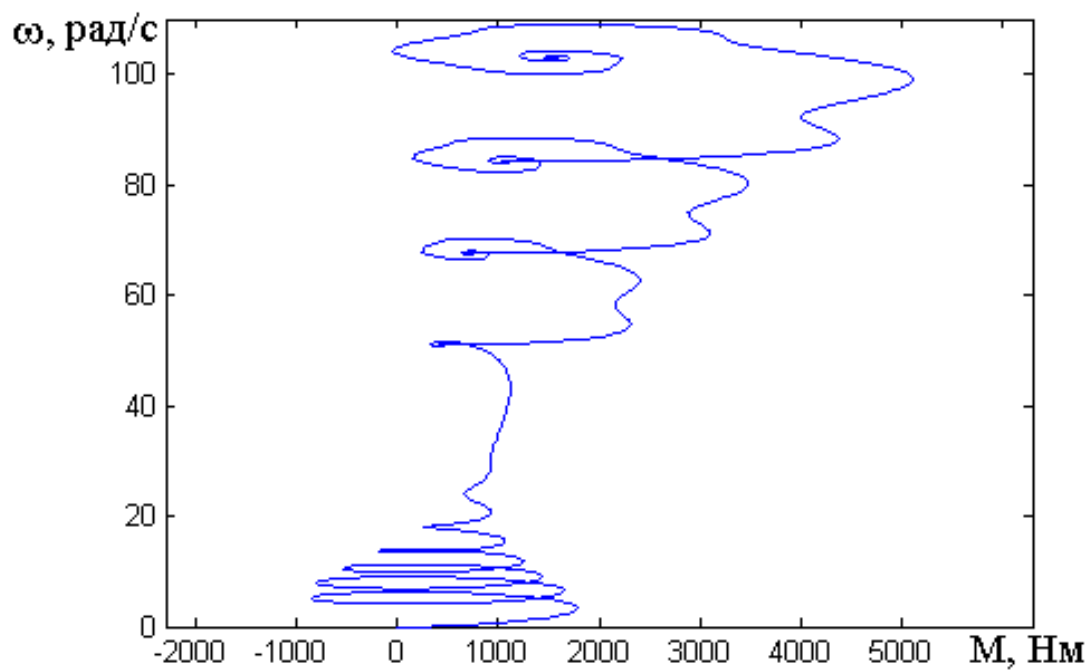


Рисунок 45 - Динамическая характеристика двигателя

Из графиков переходных процессов видно, что происходят значительные броски момента во время перехода с одной фиксированной скорости работы на другую.

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является обоснование целесообразности использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- Планирование и формирование графика работ на реализацию технического проекта;
- определение сметы инженерного проекта;
- определение ресурсосберегающей эффективности технического проекта.

5.1 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования системы электроснабжения ферросплавного завода.

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель проекта и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Перечень работ и распределение исполнителей приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень работ и распределение исполнителей

№ работ	Название работы	Должность исполнителя
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Дипломник
4	Кинематическая схема механизма	Дипломник
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Руководитель проекта, дипломник
6	Расчет мощности и выбор электродвигателя	Дипломник
7	Выбор способа регулирования скорости	дипломник
8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Дипломник
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Дипломник
10	Оптимизация САР электропривода	Руководитель проекта Дипломник
11	Разработка программы имитационного моделирования	Дипломник
12	Составление пояснительной записки	Дипломник
14	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем, защита работы	Руководитель проекта, дипломник

Содержание приведенных в таб.8 работ, следующее:

1. Составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;
2. Подбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;
3. Изучение объекта автоматизации – сбор исходных параметров механизма, двигателя, нагрузок;
4. Разработка кинематической схемы механизма электропривода;
5. Разработка принципиальной схемы электропривода совместно с руководителем проекта;

6. Расчет необходимой мощности для корректной работы электропривода и выбор соответствующего электродвигателя;
7. Выбор способа регулирования скорости вращения электропривода вентилятора;
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель» – расчет элементов силовой цепи;
9. Разработка математической модели системы автоматизированного управления электроприводом;
10. Оптимизация системы автоматического регулирования электропривода – оптимизация контура тока, скорости и потокосцепления;
11. Разработка программы имитационного моделирования – расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик;
12. Оформление расчётно-пояснительной записки;
13. Сдача проекта – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовка к защите и защита проекта

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

Трудоемкость выполнения ВКР 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 [19]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, (34)$$

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

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

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

В таблице 9 приведена ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 9 – Расчет продолжительности работ

№	Наименование этапа	Кол-во человек	Продолжительность работ		
			Мин. возм. труд-сть, дн.	Макс. возм. труд-сть, дн	Длительность работ, рабочих днях
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта	1	1	1
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	8	11	9
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Дипломник	5	8	6
4	Кинематическая схема механизма	Дипломник	8	10	9
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Руководитель проекта	2	3	2
		Дипломник	14	17	15
6	Расчет мощности и выбор электродвигателя	Дипломник	13	15	14
7	Выбор способа регулирования скорости	Дипломник	10	12	11
8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Дипломник	9	12	10
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Дипломник	8	11	9
10	Оптимизация САР электропривода	Руководитель проекта	2	4	3
		Дипломник	12	14	13
11	Разработка программы имитационного моделирования	Дипломник	9	12	10
12	Составление пояснительной записки	Дипломник	4	6	5
13	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем, защита работы	Руководитель проекта	2	3	2
		Дипломник	4	5	4

На основе таблицы 9 строим план-график проведения работ (таблица 10). График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР.

Таблица 10 – График выполнения работ

№	Вид работ	Испол- нители	T _{пр} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	РП	1	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Д	9	■												
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Д	6		■											
4	Кинематическая схема механизма	Д	9			■	■									
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	РП	2			■		■								
		Д	15				■	■	■							
6	Расчет мощности и выбор электродвигателя	Д	14					■	■	■						
7	Выбор способа регулирования скорости	Д	11						■	■						
8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Д	10							■	■					
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Д	9								■	■				
10	Оптимизация САР электропривода	РП	3									■		■		
		Д	13									■	■	■		
11	Разработка программы имитационного моделирования	Д	10											■	■	
12	Составление пояснительной записки	Д	5												■	
13	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем, защита работы	РП	2												■	
		Д	4													■
РП - Руководитель проекта, Д - Дипломник																

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 13 декад, начиная с первой декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 116 рабочих дней. Из них:

116 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

8 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

5.2 Составление сметы затрат на разработку проекта

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- полная заработная плата исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5.2.1. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп}, (35)$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, (36)$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{тс}} + З_{\text{допл}} + З_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}}, \quad (37)$$

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

$З_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$З_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.;

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце, раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы.

Исполнители	Оклад, руб.	Доплаты, руб.	Район. коэф, руб.	Зарплата за месяц, руб.	Зарплата среднедневная, руб.	Тр, раб. дн.	Зарплата основная, руб.
Руководитель проекта	20390	2000	6715	29105	1120	8	8960
Дипломник	8000		2400	10400	400	115	46000
ИТОГО							54960

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (38)$$

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэф. доплаты	Зарплата основная, руб.	Доп. Зарплата, руб.	Полная зарплата, руб.
Руководитель проекта	0,15	8960	1345	10300
Дипломник	0,12	46000	5520	51500
ИТОГО				61800

5.2.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам

государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (39)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2016 г. установлен размер страховых взносов, равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 61800 = 18,7 \text{ тыс. руб.}$$

5.2.3. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д.

Коэффициент накладных расходов в условиях ТПУ составляет 16% от общей суммы затрат.

Смета затрат на технический проект приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	61,8	64,5
2. Отчисления во внебюджетные фонды	18,7	19,5
3. Накладные расходы	15,5	16,0
ИТОГО	96,0	100,0

5.3 Расчет стоимости технических средств

Стоимость технических средств для запуска автоматизированного электропривода приведена в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет стоимости технических средств.

Наименование	Кол-во, шт.	Цена, руб.
Электропривод унифицированный трехфазный реверсивный ЭПУ1-2-4627М 400А	1	146900
Тахогенератор TC-1М	1	19000
Автоматический выключатель Moiller NZMN4–AE630	1	49200
Тепловая защита с двумя реле LST	1	1600
КС-М30-81У-1251-ЛА.01 Бесконтактный датчик контроля скорости	1	2500
Шкаф распределительный ШР11-73514-54У3	1	25700
Монтажный кабель (3х120мм ²)		30000
Итого		274900

Стоимость оборудования учитывает затраты предприятия на транспортировку оборудования и рассчитывается по формуле:

$$C_{м.об} = C_{об} \cdot K_{тзр} ; \quad (40)$$

где $C_{об}$ – суммарная стоимость электрооборудования;

$K_{тзр}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаемый $K_{тзр}=1,1$.

$$C_{м.об} = 274,9 \cdot 1,1 = 300 \text{ тыс.руб.}$$

Для запуска автоматизированного электропривода проектом предусмотрена закупка оборудования на сумму 300 тыс.руб.

5.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [20]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, (41)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Оценка характеристик проекта приведена в таблице 15.

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Конкурентоспособность разработки	Баллы
Уровень надежности	0,25	4
Уровень обслуживания	0,23	5
Завышение мощности электропривода	0,12	4
Уровень затрат на эксплуатацию	0,17	4
Коэффициент мощности	0,13	5
Генерирование помех	0,10	4
ИТОГО:	1,00	

Бесперебойная работа электропривода обеспечивает высокую надежность использования разработанного привода, что является одним из важнейших параметров, обеспечивающих высокую конкурентоспособность разработки наравне с простотой и удобством в эксплуатации. Также небольшой уровень затрат на эксплуатацию достигается за счёт автоматизации электропривода. Разработанный электропривод не имеет завышений по мощности и имеет низкий уровень генерирования помех.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I = 0,25 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,18 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,14 \cdot 4 + 0,08 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 = 4,21$$

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу можно сделать следующие выводы:

- в результате анализа конкурентных преимуществ и потенциальных потребителей установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономически технического производства;
- при планировании проектных работ был разработан график занятости для двух исполнителей, позволяющий оптимально скоординировать их работу;
- смета затрат на разработку технического проекта составляет 96 тыс. руб., из которых более половины (64 %) составляют затраты на оплату труда;
- общая стоимость технических средств на реализацию проекта составляет 300 тыс.руб.

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В данной выпускной квалификационной работе был разработан электропривод вентилятора системы регулирования температуры прокатного стана. Целью данного раздела является анализ и оценка вредных, и опасных факторов труда, которые могут оказать воздействие на персонал (Электромонтер по ремонту и обслуживанию электроустановок), занимающийся обслуживанием подкачивающей насосной станции, где будет установлен данный электропривод. Проведена разработка мер защиты от этих факторов, оценка условий труда и микроклимата рабочей среды. Так же в данном разделе, будут рассмотрены вопросы касающиеся непосредственно техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

6.1. Анализ опасных и вредных факторов

При эксплуатации электропривод вентилятора системы регулирования температуры прокатного стана установки возможно воздействие на человека опасных производственных факторов:

- Поражение электрическим током
- Пожар
- Наличие вращающихся частей

Так же присутствуют вредные факторы, которые в свою очередь могут оказать негативное воздействие на человека. К ним относятся:

- Повышенный уровень вибрации
- Недостаток естественного света
- Повышенная влажность
- Тепловое излучение
- Повышенная температура воздуха
- Повышенный уровень шума
- Повышенная скорость движения воздуха

6.2. Техника безопасности

Данный объект относится ко 2 – ой категории опасности. Помещение можно охарактеризовать как сырое, в котором при нормальных условиях влажность временно может повышаться до насыщения, как, например, при резких изменениях температуры или при выделении большого количества пара.

Т.к. вентилятор состоит из вращающихся механизмов, то при их обслуживании существует вероятность соприкосновения с ними, а они в свою очередь могут нанести вред человеку. Для того чтобы свести влияние этого фактора к минимуму, на вращающиеся части механизмом устанавливают защитные кожухи, а так же проводят балансировку механизмов в соответствии с [23] .

Техническая эксплуатация действующих электроустановок осуществляется электротехническим персоналом в соответствии с ведомственными Правилами технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ) и Правилами технической безопасности при эксплуатации электроустановок (ПТБ). Действующими называют электроустановки или их участки, которые находятся под напряжением или на которые напряжение можно подать включением коммутационных аппаратов (выключателей, отделителей, разъединителей и др.).

Обслуживание электроустановок осуществляется административно-техническим, дежурным, ремонтным или оперативно-ремонтным электротехническим персоналом. Лица из числа дежурного и оперативно-ремонтного персонала должны пройти необходимую теоретическую подготовку, обучение на рабочем месте и проверку знаний ПТЭ и ПТБ. Оперативное обслуживание предусматривает периодические осмотры электрооборудования распределительных устройств, приборов релейной защиты и автоматики, кабельных и воздушных линий, а также производство необходимых оперативных переключений.

В процессе эксплуатации электроустановок производятся работы, предусмотренные графиками планово-предупредительного ремонта действующего электрооборудования, профилактические испытания изоляции электрических машин, кабелей, наладка и проверка аппаратуры управления электроприводами, релейной защиты и автоматики и др., а также возможны внеплановые ремонты, ликвидация последствий аварий и п. т.

До начала работы на электроустановках и в процессе ее выполнения необходимо выполнять организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность труда.

Работы в действующих электроустановках подразделяются в отношении принятия мер безопасности на три категории:

1. Со снятием напряжения с токоведущих частей.
2. Под напряжением на токоведущих частях с применением электрозащитных средств.
3. Без снятия напряжения на нетоковедущих частях.

Для безопасного выполнения работ с полным или частичным снятием напряжения в электроустановках насосной станции необходимо выполнить следующие технические мероприятия:

1. Произвести отключения и принять меры, препятствующие подаче напряжения к месту работы.
2. Вывесить на рукоятках коммутационных аппаратов запрещающие плакаты: "Не включать - работают люди!".
3. Проверить наличие остаточного напряжения индикатором.

Помещение вентилятора охлаждения градирни в соответствии [24] относится к сооружениям особой опасности. Данное сооружение имеет токопроводящие полы, более того существует возможность одновременного прикосновения к металлическим корпусам электрооборудования и заземленным конструкциям

В случае аварийной ситуации при работе электроустановок насосной станции возможно появление напряжения на металлических шкафах электрооборудования, электродвигателях и металлических частях пульта управления и других нетоковедущих частях. Поэтому при прикосновении к металлическим установкам может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. В настоящее время в РБ действует [25], который распространяется на производственные и бытовые электроустановки постоянного и переменного токов и устанавливает нормы предельно допустимых для человека значений напряжения прикосновения и токов, протекающих через его тело.

Контроль предельно допустимых уровней напряжения прикосновения и тока должен осуществляться измерениями этих величин в перечисленных местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека.

Для защиты обслуживающего персонала корпуса шкафов управления и прочего электрооборудования заземляются, а двигатели - зануляются.

Защитное заземление - преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Принцип действия защитного заземления - снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус или другими причинами. Это достигается путем уменьшения потенциала на заземленном оборудовании (за счет уменьшения сопротивления заземления), а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования.

Защитное зануление - это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением. Принцип

действия зануления - превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (между фазным и нулевым проводником) с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и автоматически отключить поврежденное электрооборудование от питающей сети. Схема защитного зануления приведена на рис. 46.

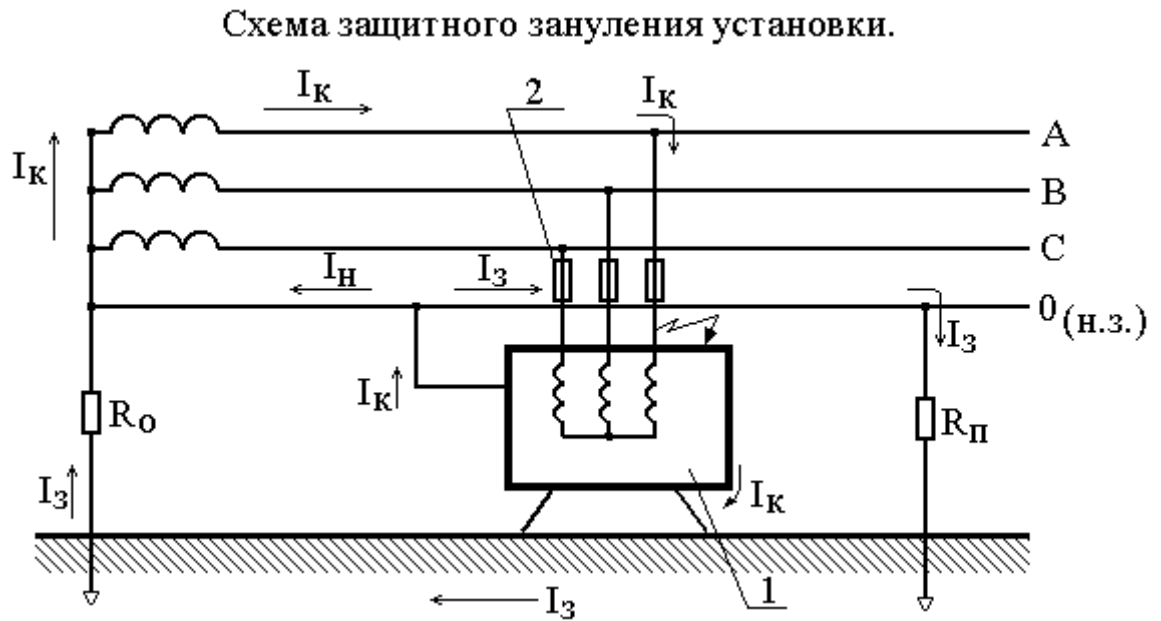


Рисунок 46 – Схема защитного зануления установки

- 1 – корпус;
- 2 – аппараты защиты от токов короткого замыкания (предохранители и автоматы);
- R_0 – сопротивление заземления нейтрали источника тока;
- R_{Π} – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника;
- I_k – ток к.з.;
- I_n – часть тока короткого замыкания, протекающая через нулевой проводник;
- I_z – часть тока короткого замыкания, протекающая через землю;
- 0 (н.з.) – нулевой защитный проводник.

Отключение поврежденной установки от питающей сети произойдет, если значение тока однофазного короткого замыкания (I_k), которое искусственно создается в цепи, будет больше значения тока срабатывания автоматического выключателя и выполняется следующее условие:

$$I_k \geq k \cdot I_{ном}$$

где k - коэффициент кратности тока, выбирается в зависимости от типа защиты электроустановки.

Для проверки обеспечения отключающей способности зануления необходимо проверить следующее условие:

$$I_{\kappa 2} \geq I_{\kappa 1}$$

где $I_{\kappa 1}$ - наименьшее допустимое значение тока, которого замыкания, $I_{\kappa 2}$ - действительное значение тока однофазного короткого замыкания.

Нам необходимо определить:

- наименьшее допустимое значение тока ($I_{\kappa 1}$) которого замыкания, при котором произойдет срабатывание защиты и поврежденное оборудование отключится от сети;
- действительное значение тока однофазного короткого замыкания, которое будет иметь место в схеме при возникновении аварии ($I_{\kappa 2}$).

Определим величину тока $I_{\kappa 1}$:

$$I_{\kappa 1} = k \cdot I_{ном} = 1,25 \cdot 50 = 62,5 \text{ A}.$$

где $I_{ном} = 50 \text{ A}$ - номинальный ток срабатывания автоматического выключателя. Определим полное сопротивление петли "фаза-нуль":

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{H.A})^2 + (X_{\phi} + X_{H.A} + X_{\Pi})^2} \quad (42)$$

где $R_{\phi} = 0,9 \text{ Ом}$ (алюминий), $R_{H.A} = 0,154 \text{ Ом}$ (сталь). - активное сопротивление фазного и нулевого защитного проводников; $X_{\phi} = 0,015 \text{ Ом}$, $X_{H.A} = 0,154 \text{ Ом}$ - внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводников; $X_{\Pi} = 0,02 \text{ Ом}$ - внешнее индуктивное сопротивление петли "фаза-нуль".

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{H.A})^2 + (X_{\phi} + X_{H.A} + X_{\Pi})^2} = \sqrt{(0,9 + 0,154)^2 + (0,015 + 0,154 + 0,02)^2} = 1,07 \text{ Ом}$$

Находим действительное значение тока однофазного короткого замыкания, проходящего в схеме в аварийном режиме:

$$I_{K2} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_{\Pi}} = \frac{220}{\frac{0,12}{3} + 1,07} = 198,2 \text{ A} \quad (43)$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение, В;

Z_{Π} - полное сопротивление цепи "фаза-нуль", Ом;

Z_T - полное сопротивление трансформатора, Ом.

Сравним действительные (вычисленные) значения токов однофазного короткого замыкания (I_{K2}) с наименьшим, допустимым по условиям срабатывания защиты током (I_{K1}): $I_{K2} \geq I_{K1} \longrightarrow 198,2 > 62,5 \text{ A}$

следовательно, отключающая способность системы зануления обеспечена и нулевой защитный проводник выбран правильно.

6.3. Производственная санитария

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, вращающиеся части электродвигателей и вентилятор должны быть закрыты защитными кожухами. При работе вентилятор возможно воздействие на человека (оператора) следующих вредных [22] факторов:

- Повышенные уровни шума
- Повышенная вибрация
- Недостаток естественного света

При возникновении на вентилятора биологически опасных факторов, к которым относятся патогенные микроорганизмы (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты) и продукты их жизнедеятельности, возможно заражение большого числа людей, поэтому помещения насосной станции должны находиться под санитарным контролем. Вентиляторные установки

являются источниками шума. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровней звука на рабочих местах приведены в таблице 16. Согласно [26]

Таблица 16. – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот.

Рабочее место	Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами								Уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места	95	87	22	78	75	73	71	69	80

Для обеспечения допустимого уровня шума применяются следующие меры безопасности:

- Разработкой шумобезопасной техники;
- применением средств и методов коллективной защиты в соответствии с [27];
- применением средств индивидуальной защиты согласно [27].

Освещенность помещений вентиляторной должна соответствовать виду производимых работ: в помещении с пультом управления - зрительной работе средней точности, а в прочих помещениях - малой точности. Нормативы освещенности на рабочих местах согласно [28] приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Нормативы освещенности на рабочих местах.

Характеристика зрительной работы	Минимальный размер объекта, мм	Разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение, лк	Естественное освещение КЕО, %	Совместное освещение КЕО, %
Средней точности	0.5.1.0	IVв	средний	средний	400	4	2.4
Малой точности	1.0.5.0	Vв	средний	средний	150	3	1.8

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений указаны в таблице 17 [29]

Таблица 17 – Допустимые показатели микроклимата на рабочих местах.

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат (ккал/ч)	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Теплый	2а (151-200)	20-22	18-27	60-40	15-75	0,2	0,4
Холодный	2а (151-200)	19-21	17-23	60-40	15-75	0,2	0,3

При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах не должна превышать 22°С [35].

Таблица 18 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела, работающих от производственных источников.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового излучения, Вт/м, не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Для снижения влияния теплового излучения на обслуживающий персонал, выдается спецодежда, которая должна обеспечивать защиту от воздействия опасных производственных факторов, вызываемых тепловым излучением и конвективной теплотой, при соответствии условий работы, режима и охраны труда установленным требованиям. Материалы одежды не должны оказывать вредного воздействия на организм человека. Одежда должна иметь санитарно-эпидемиологическое заключение установленного образца о соответствии государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам [36].

Содержание пыли в воздухе рабочего помещения ниже установленной нормы, по которой предельно-допустимая концентрация составляет более 10 мг/м³.

Вентилятор относится к 3 категории вибрации - технологическая вибрация, которая воздействует на человека на рабочем месте. Источником вибрации служат: станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечнопрессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков),

установки химической и нефтехимической промышленности и др. Длительное воздействие вибрации на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это профессиональная патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень (ПДУ). Болеют, как правило, мужчины среднего возраста. Вибрация может действовать как локально (например, на рабочие руки), так и на весь организм. Но в любом случае она способна к распространению, отражаясь на нервной и опорно-двигательной системе. Гасится вибрация благодаря эластическим свойствам мышц, связок, хрящей. Кроме того, от длительной вибрации страдает сердечно-сосудистая система и особенно - микроциркуляторное русло (мелкие сосуды, в которых идет непосредственная отдача кровью кислорода, и утилизация из тканей углекислого газа). Далее согласно[27] в таблице 19 приведены допустимые уровни вибрации для производственных помещений.

Таблица 19 – Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий.

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

Для снижения воздействия вибрации на человека, изменяют конструкцию, в частности смещают её основные собственные частоты, при которых возможно возникновение резонанса, что достигается увеличением жесткости системы (за счет введения дополнительных ребер жесткости) или ее массы (например, усиление фундамента). Ещё один способ — это присоединение к объекту упругого подвешенного тела — динамический гаситель, который воспринимает вибрацию основного объекта (динамическое гашение вибрации);

6.4. Пожарная безопасность

Данное помещение, где установлена вентилятор согласно [30] относиться к категории Д. Опасными факторами пожара для людей являются открытый огонь, искры, повышенная температура воздуха, токсичные продукты горения, дым, пониженная концентрация кислорода, обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок, а также взрыв.

Для предотвращения пожара необходимо соблюдать следующие меры:

- предотвращение образования горючей среды;
- предотвращение образования в горючей среде источников зажигания;
- поддержание температуры и давления горючей среды ниже допустимых;
- уменьшение определяющего размера горючей среды.

При коротких замыканиях, перегреве и т.п. возможно загорание электропроводки, электроустановок. Для тушения пожара в таких условиях необходимо применять специальные средства, невозможно использовать воду и другие токопроводящие вещества. Поэтому помещения насосной станции должны быть оборудованы средствами для тушения электропроводок и электроустановок под напряжением. Применяемый тип огнетушителей: ОУ-10 (огнетушитель углекислотный).

6.5. Охрана окружающей среды

При эксплуатации объекта установлены основные виды воздействий проектируемого объекта: физическое наличие объекта (сооружение и эксплуатация объекта) влияет на гидрологию, климат, социально-экономические условия жизни, природопользование местного населения;

Химические вещества, пыль, твердые бытовые отходы загрязняют компоненты окружающей среды (воздух, воду, водные биоресурсы, почвы,

растительность), воздействуют на биопродуктивность водоемов и здоровье населения;

шум, вибрация, электромагнитное излучение воздействуют на компоненты окружающей среды;

динамическое воздействие движущихся машин и механизмов на людей, животных, растительность, почву.

Мероприятиями по снижению интенсивности загрязнения атмосферного воздуха, создание препятствий на пути распространения и их очисткой разными методами:

Физико-химическими – для сварочных работ применение устройств для сбора и очистки газов (местных отсосов).

Биологическими – сохранение и создание полос озеленения вокруг объекта.

Воздействие на гидросферу.

Ведется систематическая работа по сокращению загрязнения сточных вод и общих объемов водопотребления и водоотведения, а так же проводится очистки загрязненных и ливневых сточных вод. Мероприятиями по снижению негативного шумового воздействия являются сохранения природных и создание искусственных препятствий для снижения уровня шума. При складировании (утилизации) отходов промышленного производства выявляются источники образования отходов потребления и производства, мероприятия по их утилизации. К таковым источникам относятся горюче-смазочные материалы, металлолом, бытовые отходы. В качестве мероприятий по утилизации всех видов отходов предусматривается их вывоз на площадки хранения ТБО, повторная переработка ГСМ и металлолома.

6.6. Защита при ЧС

Вентилятора охлаждения градирни в соответствии с требованиями постановления Правительства Российской Федерации от 19.09.98 N 1115 "О порядке отнесения организаций к категориям по гражданской обороне" отнесены к объектам по гражданской обороне. В соответствии со [31] насосные станции расположены в следующих зонах возможных опасностей:

- в зоне возможных слабых разрушений;

Доведение сигналов оповещения ГО и в случае ЧС до персонала объектов осуществляется с помощью речевой информации по каналам радиовещания, по радиотрансляционным сетям и сетям связи. Электроснабжение основных электроприемников объектов предусматривается по I категории надежности от двух независимых источников. Проектные решения по предупреждению чрезвычайных ситуаций(ЧС). На территории насосных станций не используют, не производят, не перерабатывают, не хранят радиоактивные, пожаро, а также взрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника чрезвычайной ситуации. В качестве наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций техногенного характера проектом рассматриваются:

- пожар на территории объектов;

- ЧС при постороннем вмешательстве в деятельность объектов. Население, которое может оказаться в зоне действия поражающих факторов в случае аварии на объектах, отсутствует. Для обеспечения нормальной работоспособности объекта при ЧС приняты следующие меры безопасности:

- Установка дополнительного резервного электропитания
- Наличие дополнительных сменных частей.
- Наличие запасов питьевой воды

В разделе социальная безопасность проекта освещены вопросы: производственной и экологической безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды и защите при ЧС.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе была исследована микропроцессорная система регулирования температуры двигателя прокатного стана.

В ходе работы был осуществлен выбор электрооборудования, необходимого для реализации современной системы регулирования температуры. Для регулирования скорости вращения вентилятора предложено использовать современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод.

Получены механические и электромеханические характеристики выбранного асинхронного двигателя, построенные по расчетным и каталожным значениям. В качестве закона управления, для преобразователя частоты выбран закон регулирования $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$.

Также произведено моделирование переходного процесса при пуске двигателя в программной среде MatLab Simulink. С использованием имитационных моделей построены динамические характеристики. Был реализован задатчик интенсивности. В программной среде Matlab было произведено моделирование работы привода вентилятора. В ходе моделирования были получены переходные процессы скорости вентилятора при различных заданиях на температуру. Результаты моделирования показали, что при увеличении температуры вентилятор увеличивает скорость вращения.

Микропроцессорная система управления с резервированием и наличие резервного привода значительно увеличивают надежность всей системы. В данной работе рассмотрены все возможные ситуации при работе всей микропроцессорной системы регулирования температуры прокатного стана, которые могут произойти в реальной эксплуатации. Разработанная система соответствует поставленному техническому заданию и является работоспособной.

Современные электропривода с использованием преобразователей частоты и программного управления широко внедряются в промышленность. Такие привода на порядок увеличивают производительность, а также способны экономить электроэнергию по сравнению с ранее используемыми.

Список используемых источников

1. Калинушкин М.П. Насосы и вентиляторы: учебное пособие для вузов, 6-е издание. – М.: Высшая школа, 1987. – 176с.
2. С.Н. Вешеневский Характеристики двигателей в электроприводе. Изд.6-е, исправленное. М., «Энергия»
3. А.Ю. Чернышёв, И.А. Чернышёв. Расчёт характеристик электропривода переменного тока. Ч. 1. Асинхронный двигатель: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005 – 136с.
4. Л.С. Удут, Н.В. Кояин, О.П. Мальцева: Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5 Изд-во ТПУ, 2005 – 110с.
5. Электрический привод: Учеб пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования –М.: Мастерство: Высшая школа, 2000.–368с.
7. Онищенко Г.Б. Рег. Автоматизированный электропривод промышленных установок: Уч. пособие для ВУЗов, М.: Энергоатомиздат, 2002 г
9. Толубаев В.В. Система автоматического регулирования температуры Сборник трудов XIV международного студенческого научно-технического семинара «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность» двигателя прокатного стана. Изд-во ТПУ – Томск, 2012.
10. Толубаев В.В. Микропроцессорная система регулирования температуры двигателя прокатного стана// Сборник трудов XII региональной научно-практической студенческой конференции «Электротехника, электромеханика и электротехнологии»
11. И.И. Алиев. Электротехнический справочник. Москва, 2000 – 432с.
12. <http://psbprivod.ru/catalog/elektrodvigateli/siemens/product/1LG>
13. <http://powerelectronics.com>
14. <http://www1.eere.energy.gov>
15. <http://www.microcool.com>
16. <http://www.globalspec.com>
17. <http://www.controlgear.co.za>

18. <http://www.promspecrele.ru>
- 19) Фатхудинов Р. А. Производственный менеджмент. 203 – 491с.
- 20) Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. В426 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.
21. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
22. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
23. ГОСТ 17494-87 - Машины электрические вращающиеся.
24. ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. — 6-е и 7-е изд.. — Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2009. — 687 с.: ил.. — ISBN 978-5-379-01195-6.
25. ГОСТ 12.1.000-02 ССБТ – Электробезопасность. Допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
26. ГОСТ 12.1.003-83(СТ СЭВ 1930-79) – Шум. Общие требования безопасности.
27. ГОСТ 12.4.051-87 – Средства индивидуальной защиты органа слуха.
28. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
29. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.
30. ГОСТ 12.1.012-90 – Вибрационная безопасность.
31. НПБ 105-03 Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.