

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование и модернизация комплекса насосного электрооборудования угольной котельной

УДК 621.65-83:697.32-661

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Романов Константин Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

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	Гуляев Милий Всеволодович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.03 – Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б1	Романову Константину Владимировичу

Тема работы:

Исследование и модернизация комплекса насосного электрооборудования угольной котельной.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая литература.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение: описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров схемы замещения электропривода; расчет статических и динамических характеристик; имитационное моделирование социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна, доцент отделения социально-гуманитарных наук
«Социальная ответственность»	Гуляев Милий Всеволодович, старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Не предусмотрено	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Однокопылов Иван Георгиевич	кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Романов Константин Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б1	Романову Константину Владимировичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроснабжение промышленных предприятий
Уровень образования	Бакалавриат	Направление /специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП)	Затраты на специальное оборудование определяются согласно прейскурантам. Зарботная плата определяется исходя из тарифных ставок и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ.
2. Продолжительность выполнения ТП	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 105 календарных дней.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование графика работ по реализации ТП	При составлении графика работ по реализации ТП используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта.
3. Составление сметы ТП	При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям: - затраты на оборудование; - полная зарботная плата исполнителей; - отчисления во внебюджетные страховые фонды; - накладные расходы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей);

Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Романов К.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
З-5Г4Б1	Романов Константин Владимирович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроснабжение промышленных предприятий
Уровень образования	Бакалавриат	Направление /специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования	Исследование и модернизация электрооборудование угольной котельной, принадлежащей
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность	2.1 Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. 2.3. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов - Повышенный уровень шума на рабочем месте; - Повышенная вибрация; - Неудовлетворительная освещённость рабочей зоны; - Неудовлетворительный микроклимат рабочей зоны. 2.4 Анализ следующих опасных факторов: - Поражение электрическим током; - Механические травмы.
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия на атмосферу: выбросы загрязняющих веществ, удаляемые из производственных помещений. Анализ воздействия на литосферу: образование отходов в результате деятельности к которым относятся первичная упаковка сырья, отработавшие фильтры, и т.д.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. - Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
--	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Романов Константин Владимирович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Введение	10
	Техническая характеристика насосного оборудования	20
	Выбор элементов силового канала электропривода	10
	Разработка и исследование моделей электропривода с учетом скалярного управления	20
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	20
	Социальная ответственность	20
		100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 98 страниц, 37 рисунков, 29 таблиц, 33 источника.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, насос, преобразователь частоты, прямой пуск, плавный пуск.

Объект исследования: асинхронный электропривод насоса угольной котельной.

В процессе работы проводились расчеты мощности двигателя и выбор его по каталогу, естественных характеристик электродвигателя, механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты – двигатель, параметров системы управления электропривода. Полученными результатами являются: переходные характеристики асинхронного двигателя с частотным преобразователем.

Область применения: насосное оборудование.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ MATLAB, Mathcad, в текстовом редакторе MS Word.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС УГОЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ.....	14
1.1 Описание процесса.....	14
1.2 Принцип работы водогрейной котельной.....	15
2. РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	19
2.1 Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор.....	19
2.2 Расчет параметров двигателя.....	22
2.2.1 Расчет параметров схемы замещения электродвигателя.....	22
2.2.2 Расчет механических характеристик электродвигателя.....	26
2.2.3 Расчет полного момента потерь электродвигателя.....	27
2.2.4 Расчет электромеханических характеристик электродвигателя.....	29
2.2.5 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии.....	31
2.2.6 Выбор преобразователя частоты.....	32
2.2.7 Выбор закона частотного регулирования.....	33
2.2.8 Расчет искусственных характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ системы регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости.....	33
3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА УГОЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	39
3.1 Моделирования прямого пуска двигателя.....	39
3.2 Структурные схемы и моделирование асинхронной двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат.....	42
3.3 Моделирование системы скалярного управления ПЧ-АД с законом управления $U_1/f_1^2=\text{const}$	44
3.3.1 Моделирование источника питания асинхронного двигателя.....	45
3.3.2 Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой.....	46

3.3.3 Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой.....	47
3.3.4 Исследование разомкнутой системы ПЧ-АД.....	48
3.3.5 Имитационное моделирование разомкнутой системы ПЧ-АД.....	50
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	60
4.1 SWOT-анализ по разработке проекта электропривода угольной котельной.....	61
4.2 Организация работ технического проекта.....	63
4.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования	63
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	65
4.2.3 Разработка графика проведения технического проектирования.....	67
4.3 Составление сметы технического проекта.....	68
4.3.1 Затраты на материалы расходы.....	68
4.3.2 Полная заработная плата исполнителей.....	70
4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	72
4.3.4 Накладные расходы.....	72
4.4 Формирование сметы технического проекта.....	73
4.5 Определение ресурсоэффективности проекта.....	73
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	77
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	77
5.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	77
5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	78
5.2. Производственная безопасность.....	79
5.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	79
5.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов.....	80

5.2.3 Шум.....	81
5.2.4 Вибрация.....	82
5.2.5 Неудовлетворительная освещенность.....	84
5.2.6 Микроклимат.....	85
5.2.7 Анализ опасных факторов.....	87
5.2.8 Электропоражение.....	87
5.2.9 Загорание (пожар).....	88
5.3. Экологическая безопасность.....	89
5.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	90
5.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	91
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	91
5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	91
5.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	95
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	96

ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение в современном мире является приоритетным направлением развития технологий во всех странах мира. Энергосбережение в любой сфере производства это проведение мер по снижению потерь.

Электропривод, как энергосиловая основа мирового производства потребляет около 60% всей вырабатываемой электроэнергии. Следовательно энергосбережение в этой сфере позволит получить максимальный результат.

Основная доля энергии используется электроприводами на основе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Главным направлением энергосбережения является переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому. Это направление стремительно развивается во всем мире благодаря совпадению нескольких событий: недостаток энергетических ресурсов, значительный рост их стоимости и отличные успехи в развитии силовой электроники и микроэлектроники.

Электрический привод – это основная энергосиловая часть любого современного хозяйства либо производства, предприятия. Большую часть среди всех применяемых электроприводов занимают электроприводы с использованием асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Наряду с другими электродвигателями асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором обладает простотой конструкции и относительно доступной стоимостью, благодаря данным параметрам они приобрели свою популярность в различных механизмах. Недостатками асинхронного электродвигателя являются: тяжелый пуск при прямом подключении к питающей сети (6-7 кратные пусковые токи), а также затруднительное регулирование скорости вращения.

Объектом исследования является автоматизированный электропривод угольной котельной на базе системы ПЧ-АД «преобразователь частоты – асинхронный электропривод».

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС УГОЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

1.1 Описание процесса

Угольная котельная - комплекс зданий и сооружений или помещения с котлом и вспомогательным технологическим оборудованием, предназначенные для получения горячей воды или пара путем сжигания угля с целью обеспечения жилых и промышленных объектов.

Угольные котельные широко представлены на территории России. Экономически выгодно размещение таких котельных в негазифицированных регионах или регионах, соседствующих с угледобывающими, в таком случае затраты на транспортировку топлива минимальны, и угольная котельная работает с высокой эффективностью.

Состав оборудования и принцип работы угольной котельной

Угольная котельная может отличаться по составу основного и вспомогательного оборудования в зависимости от ее типа. Основные агрегаты и системы:

- Котлы водогрейные или паровые;
- Оборудование водоподготовки;
- Насосное оборудование;
- Теплообменное оборудование;
- Тягодутьевые машины;
- Дымовая труба и система газоходов;
- Газоочистка и золоуловители;
- Трубопроводы и арматура;
- Автоматик;
- Система топливоподачи с угольным бункером;
- Система золо- и шлакоудаления;

1.2 Принцип работы водогрейной котельной

В качестве примера можно рассмотреть принцип работы механизированной водогрейной котельной. Уголь поступает с угольного склада с помощью элеватора и подается на конвейер или скиповый подъемник, после чего распределяется в бункерах запаса, откуда уголь выгружается в засыпной ковш и в топку котла.

Вода, прошедшая предварительную очистку от примесей, абразивных частиц, поступает в котельную через грязевой фильтр. С помощью сетевых насосов она подается в котел, где происходит ее нагрев топочными газами и далее направляется к потребителю. В случае применения двухконтурной схемы устанавливаются дополнительные насосы котлового контура. Дымовые газы поступают в газоход и далее в дымовую трубу. Выгрузка золы и шлака производится с помощью транспортера в отвал либо бункер-шлакосборник.

Тепловая схема котельной представлена на рисунке 1.1.

Главным потребителем электроэнергии котельных является насос, который поддерживает давление в сети водоснабжения и позволяет нагретой до нужной температуры воде добраться до потребителя.

Насос – это гидравлическая машина, которая преобразует механическую энергию движения ротора приводного двигателя в энергию потока жидкости, которая необходима для перемещения и создания напора жидкости.

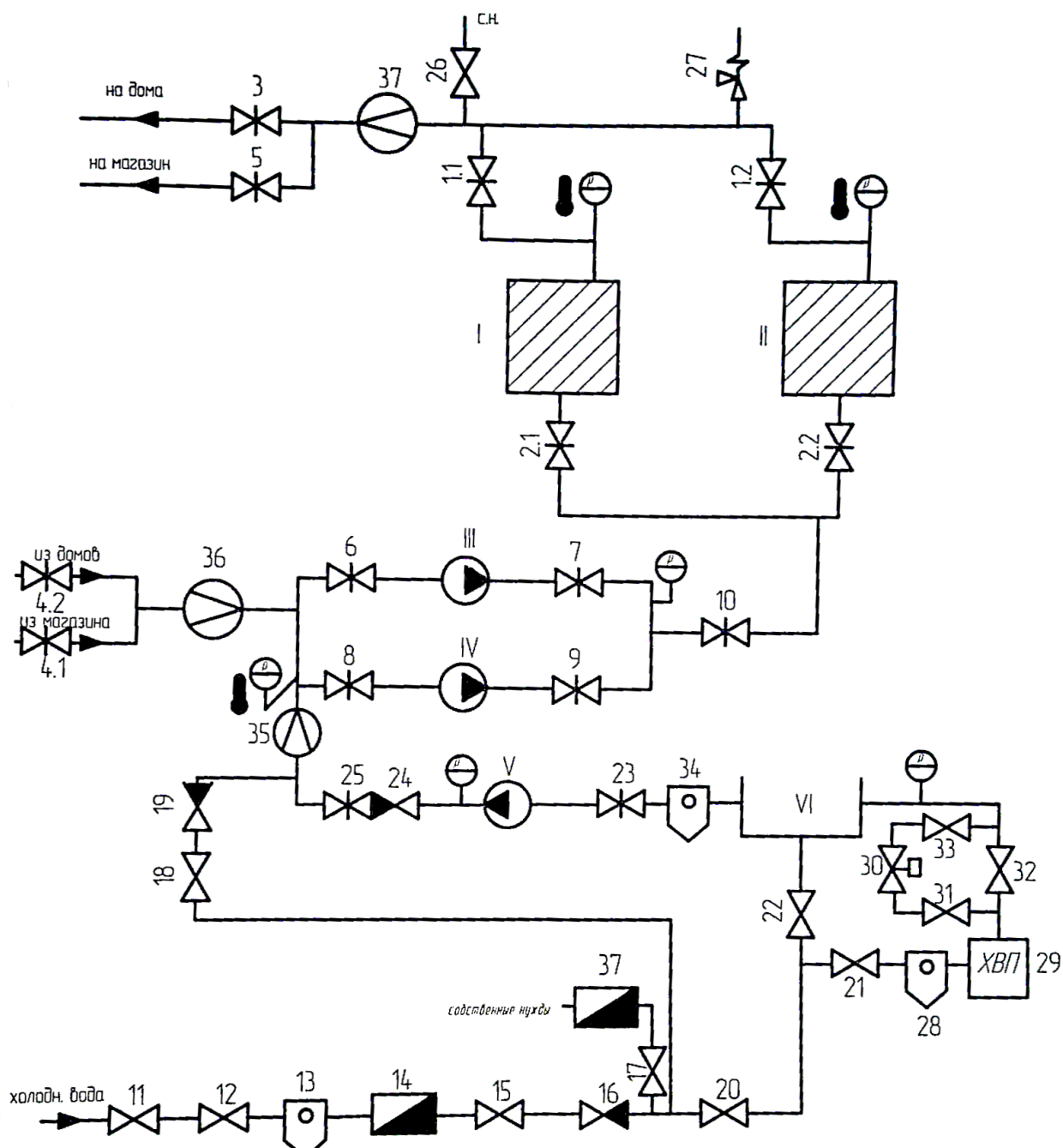


Рисунок 1.1 - Тепловая схема угольной котельной

В данной работе была рассмотрена угольная котельная, принадлежащая ОАО «Территориальная генерирующая компания №11» и находящаяся на территории города Томска.

Перечень элементов, входящих в состав котельной, представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Перечень элементов котельной

№ элемента на схеме	Перечень элементов	Количество
1.1-1.2	Задвижка диаметр 100	2
2.1-2.2	Задвижка диаметр 100	2
3	Задвижка диаметр 100	1
4.1-4.2	Задвижка диаметр 80	2
5	Задвижка диаметр 50	1
6	Задвижка диаметр 80	1
7	Задвижка диаметр 50	1
8	Задвижка диаметр 80	1
9	Задвижка диаметр 50	1
10	Задвижка диаметр 100	1
11	Вентиль диаметр 25	1
12, 17	Вентиль диаметр 15	2
13	Грязевик	1
14	Счетчик холодной воды диаметр 15	1
15	Вентиль диаметр 15	1
16	Клапан обратный диаметр 25	1
18	Вентиль диаметр 25	1
19	Клапан обратный диаметр 20	1
20-22	Вентиль диаметр 20	3
23	Задвижка диаметр 40	1
24	Клапан обратный диаметр 40	1
25	Задвижка диаметр 40	1
26	Вентиль диаметр 20	1
27	Клапан предохранительный диаметр 50	1
28	Грязевик	1
29	Установка ХВП	1
I-II	Котел НР-18, 0.64 Гкал/час	2
III-IV	Насос сетевой К-45/30	2
V	Насос подпиточный ХВП	1
VI	Бак подпиточный объём 3 куб. м	1
	Манометр 0-10	7
	Термометр 0-100	3
30	Регулирующий клапан Ду25	1
31, 32, 33	Затвор Ду25	3
34	Грязевик	1
35	Прибор учета ПРЭМ Ду20	1
36, 37	Прибор учета ПРЭМ Ду80	2

ул. Б. Подгорная ТК-4
155

ул. Б. Подгорная ТК-3
153

ул. Б. Подгорная ТК-2
151

ул. Б. Подгорная 153/1

ул. Б. Подгорная ТК-5
149

ул. Б. Подгорная ТК-6
147

ул. Севастопольская
79

Л- 30.65м
Ду-100мм

Л- 34.41м
Ду-100мм

Л- 20.06м
Ду-100мм

Л- 36.33м
Ду-50мм

Л- 18.55м
Ду-50мм

Л- 38м
Ду-80мм

Л- 28.91м
Ду-70мм

У-1

Рисунок 1.2 - Тепловые сети от котельной

2. РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.

2.1 Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор.

Исходные данные для расчета мощности двигателя представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Данные для расчета мощности двигателя

Производительность, м ³ /с	Напор, м	Скорость вращения вала насоса, об/мин	КПД насоса	КПД передачи	Плотность перекачи- ваемой жидкости, кг/м ³	Коэффициент запаса
0,0056	30	2900	0,6	1,0	1000	1,3

Выбор приводного двигателя осуществляется в соответствии с формулой:

$$P_{эд} = K_3 \cdot P_{нас} = K_3 \cdot \frac{P_n \cdot Q}{\eta_n \cdot \eta_{п}} \cdot 10^{-3} = K_3 \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_n \cdot \eta_{п}} \cdot 10^{-3};$$

K_3 — коэффициент запаса;

$P_{нас}$ — мощность насоса(гидравлическая), кВт;

P_n — давление на напоре насоса, Па;

Q — производительность, м³/с;

H — полный напор жидкости, м;

ρ — плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

$\eta_{на}$ — коэффициент полезного действия насоса.

η_n — коэффициент полезного действия передачи.

В соответствии с исходными данными производим расчет:

$$P_{\text{эд}} = 1,3 \cdot \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0056 \cdot 30}{0,6 \cdot 1} \cdot 10^{-3} = 1,3 \cdot 2,747 = 3,571 \text{ кВт};$$

Исходя из полученного результата, выбираем асинхронный двигатель серии АИР 100 S2 мощностью 4 кВт. Расшифровка обозначения:

АИР - асинхронный электродвигатель, унифицированной серии "Интерэлектро";

100 - габарит двигателя (расстояние от оси вращения до плоскости крепления в мм);

S - установочный размер по длине станины;

2 - число полюсов отвечает за кол-во оборотов ротора до 3000 об/мин;

Изображение двигателя серии АИР 100 S2 представлено на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 - Асинхронный двигатель серии АИР 100 S2

Таблица 2.2- Параметры двигателя АИР 100 S2

Параметр	Значение
Номинальная скорость вращения ротора, об/мин	2880
Номинальная мощность P_H , кВт	4
Входное напряжение U, В	380
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0,88
Номинальный ток I_H , А	8,2
КПД, %	84,2
Кратность пускового момента M_{Π}/M_H	2,2
Кратность максимального момента $M_{\max}/M_H$	2,3
Кратность пускового тока I_{Π}/I_H	7,5
Класс защиты	IP 55
Масса, кг	32
Момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,0070
Климатическое исполнение	У2

Режим работы двигателя – S1(продолжительный).

Охлаждение двигателя – принудительное воздушное.

Габаритно-присоединительные размеры изображены на рисунке 2.2.

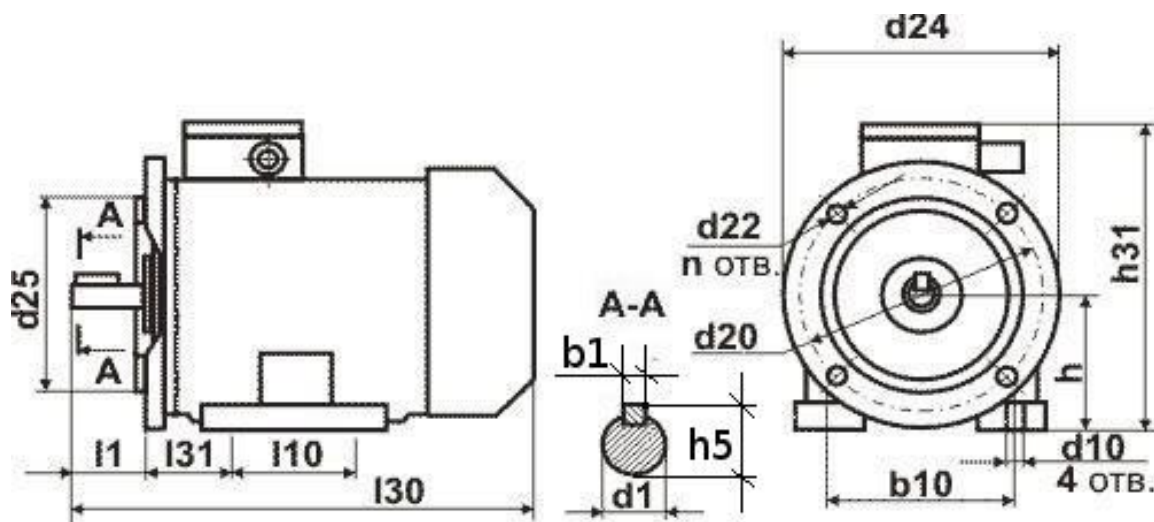


Рисунок 2.2 - Габаритно-присоединительные размеры двигателя АИР 100 S2

Значения габаритных размеров приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Габаритно-присоединительные размеры двигателя.

Обозначение	h_{31}	d_{24}	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10}	d_{20}	d_{22}
мм	227	250	60	112	63	28	12	215	14
d_{25}	b_{10}	п	h	l_{21}	l_{20}	h_{10}	h_5	b_1	l_{30}
180	160	4	100	14	4	12	31	8	376

2.2 Расчет параметров двигателя

2.2.1 Расчет параметров схемы замещения электродвигателя.

Расчет синхронной угловой частоты вращения:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 3000}{30} = 314,159 \text{ рад/с.}$$

Расчет номинальной угловой частоты вращения:

$$\omega_{\text{дв. ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв. ном}}}{30} = \frac{\pi \cdot 2880}{30} = 301,536 \text{ рад/с.}$$

Расчет номинального скольжения:

$$s_{\text{н}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв. ном}}}{\omega_0} = \frac{314,159 - 301,536}{314,159} \cdot 100 = 4 \text{ \%}.$$

Расчет номинального момента:

$$M_{\text{дв. ном}} = \frac{P_{\text{дв. ном}}}{\omega_{\text{дв. ном}}} = \frac{4000}{301,536} = 13,256 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное фазное напряжение:

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

Номинальный ток статора при соединении обмоток по схеме «звезда»:

$$I_{1\phi H} = I_{1\text{ЛH}} = I_{1H} = \frac{P_{\text{дв. ном}}}{3 \cdot U_{1\phi H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,84} = 8,2 \text{ A}$$

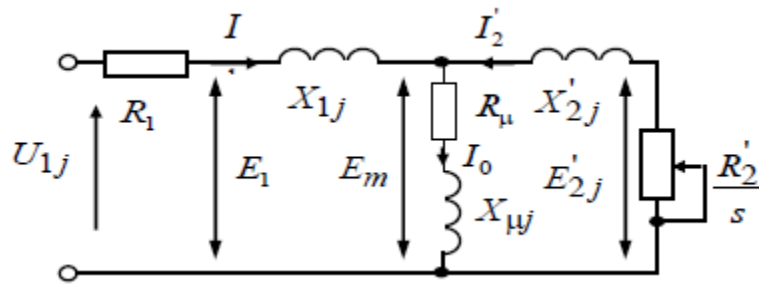


Рисунок 2.3 - Т-образная схема замещения АД.

Производим расчет тока холостого хода:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\rho_{ж} \cdot I_{1H} \cdot \frac{(1 - s_H)}{(1 - \rho_{ж} \cdot s_H)} \right)^2}{1 - \left(\rho_{ж} \cdot \frac{(1 - s_H)}{(1 - \rho_{ж} \cdot s_H)} \right)^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{5,68^2 - \left(0,687 \cdot 8,2 \cdot \frac{(1 - 0,04)}{(1 - 0,687 \cdot 0,04)} \right)^2}{1 - \left(0,687 \cdot \frac{(1 - 0,04)}{(1 - 0,687 \cdot 0,04)} \right)^2}} = 1,575 \text{ A}$$

где ток фазы статора при неполной нагрузке:

$$I_{11} = \frac{\rho_{ж} \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{\rho_{ж}} \cdot \eta_{\rho_{ж}}} = \frac{0,687 \cdot 4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,842} = 5,68 \text{ A};$$

коэффициент загрузки двигателя:

$$\rho_{ж} = \frac{P}{P_H} = \frac{2,747}{4} = 0,687;$$

$\eta_{\rho_{ж}} = \eta_H = 0,842$ – принятый КПД при неполной нагрузке;

Коэффициент мощности при неполной нагрузке:

$$\cos \varphi_{\rho_{ж}} = 0,989 \cdot 0,88 = 0,87.$$

Определяем критическое скольжение:

$$s_k = s_H \cdot \frac{k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)}$$

$$= 0,04 \cdot \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 - (1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot (2,3 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot (2,3 - 1)} = 0,204$$

где β – коэффициент, значение которого лежит в диапазоне 0,6-2,5.

Принимаем $\beta = 1$.

Для дальнейшего расчета необходимо рассчитать коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{1,575}{2 \cdot 7,5 \cdot 8,2} = 1,013;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,04)}{2 \cdot 1,013 \cdot 2,3 \cdot 4000} = 6,799;$$

Определяем активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k}\right) \cdot C_1} = \frac{6,799}{\left(1 + \frac{1}{0,204}\right) \cdot 1,013} = 1,137 \text{ Ом},$$

Рассчитываем активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,013 \cdot 1,137 \cdot 1 = 1,152 \text{ Ом}.$$

Находим индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 4,799 \cdot 1,013 \cdot 1,137 = 5,527 \text{ Ом},$$

Где параметр γ имеет следующее значение:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,204^2} - 1^2} = 4,799$$

Для выделения значений индуктивного сопротивления рассеяния обмотки ротора приведённой к статорной и индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора из индуктивного сопротивления рассеяния применяем следующие выражения:

Расчет индуктивного сопротивления рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$X_{\sigma 2} = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 5,527}{1,013} = 3,165 \text{ Ом.}$$

Расчет индуктивного сопротивления рассеяния статорной обмотки:

$$X_{\sigma 1} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 5,527 = 2,321 \text{ Ом.}$$

Находим наведённую потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме ЭДС ветви намагничивания:

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - R_1 \cdot I_{1\text{н}})^2 + (U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{н}}} - X_{\sigma 1} \cdot I_{1\text{н}})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,88 - 1,152 \cdot 8,2)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,88^2} - 2,231 \cdot 8,2)^2} = 203,33 \text{ В.} \end{aligned}$$

Следовательно, индуктивное сопротивление намагничивания имеет значение:

$$X_{\mu\text{н}} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{203,33}{1,575} = 129,098 \text{ Ом.}$$

По имеющимся значениям C_1 , R'_2 и $X_{\text{кн}}$ определяем критическое скольжение:

$$s_{K1} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1,013 \cdot 1,137}{\sqrt{1,152^2 + 5,527^2}} = 0,204.$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{\sigma 1} = \frac{X_{\sigma 1}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{2,321}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 7,389 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{\sigma 2}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{3,165}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 10,08 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{129,098}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,411 \text{ Гн.}$$

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Параметры схемы замещения

R_1 , Ом	$X_{\sigma 1}$, Ом	$L_{\sigma 1}$, Гн	R'_2 , Ом	$X'_{\sigma 2}$, Гн	$L'_{2\sigma}$, Гн	$X_{\mu H}$, Ом	$L_{\mu H}$, Гн	X_{KH} , Ом
1,152	2,321	$7,4 \cdot 10^{-3}$	1,137	3,165	$10,1 \cdot 10^{-3}$	129,098	0,411	5,527

2.2.2 Расчет механических характеристик электродвигателя.

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot [(R_1 + R'_2 \cdot s^{-1})^2 + (X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2})^2]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,137}{314,159 \cdot s \cdot [(1,152 + 1,137 \cdot s^{-1})^2 + (2,321 + 3,165)^2]};$$

Численные значения механической характеристики приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Численные значения механической характеристики

$M, \text{ Нм}$	0	27.98	34.19	32.23	28.67	25.28	22.40	16.39	14.99
$\omega, \text{ рад/с}$	314.13	283.03	251.92	220.82	189.72	158.62	127.52	34.21	3.11

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя приведена на рисунке 2.4. Она справедлива в области номинальных скоростей.

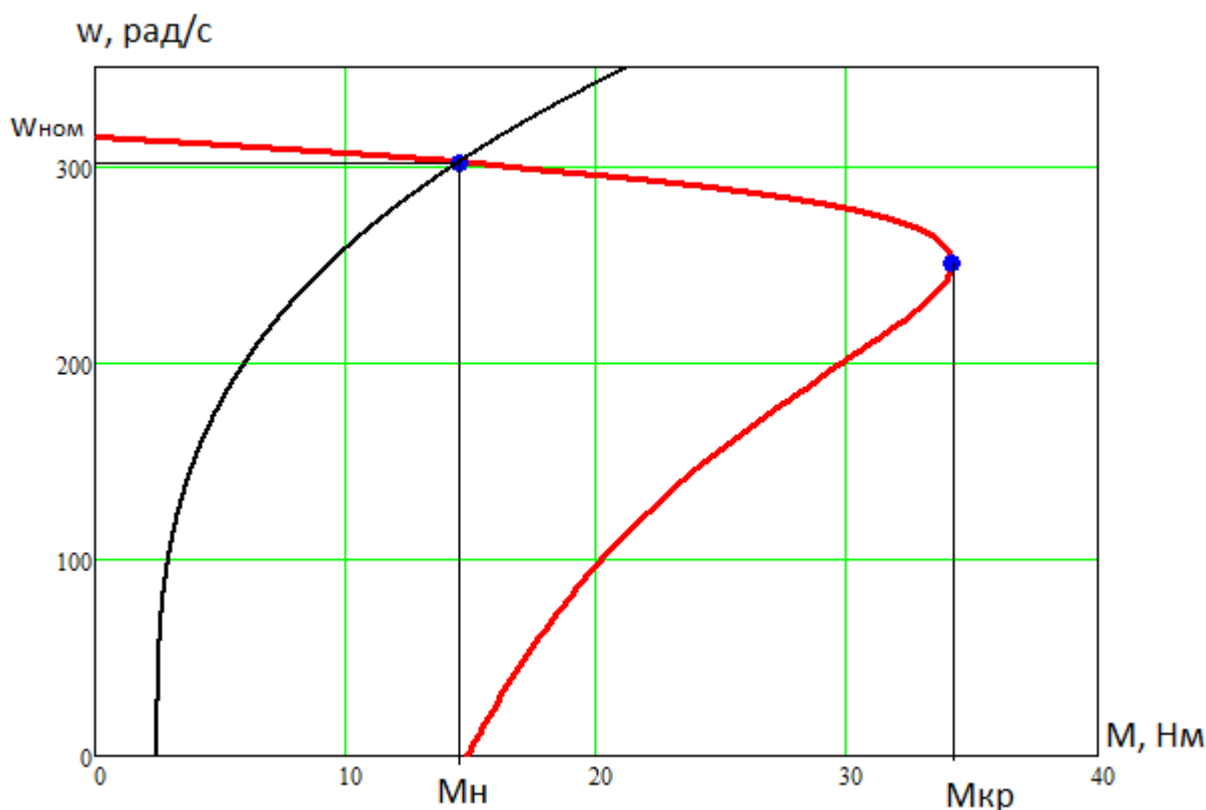


Рисунок 2.4 - Механическая характеристика асинхронного электродвигателя

2.2.3 Расчет полного момента потерь электродвигателя.

Поскольку механические характеристики двигателя рассчитаны для электромагнитного момента, то полная нагрузка на валу электродвигателя

должна учитывать собственный момент сил трения двигателя. Момент от сил трения на валу электродвигателя можно принять постоянным и равным:

$$M_{с.дв} = M_{эм.н} - M_{дв. ном} = 14,518 - 13,256 = 1,262$$

Номинальный электромагнитный момент двигателя находим по формуле:

$$M_{эм.н} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R_2}{\omega_0 \cdot s_n \cdot [(R_1 + R_2 \cdot s_n^{-1})^2 + (X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2})^2]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,137}{314,159 \cdot 0,04 \cdot [(1,152 + 1,137 \cdot 0,04s^{-1})^2 + (2,321 + 3,165)^2]} = 14,518;$$

Момент постоянных потерь на валу насоса:

$$\Delta M_{пост} = K \cdot M_{полн} = 0,0938 \cdot 13,256 = 1,243$$

$$\Delta M_c = M_{с.дв} + \Delta M_{пост} = 1,262 + 1,243 = 2,505$$

Коэффициент потерь при работе насоса с $\eta_n = 0,842$

$$K = \frac{1 - \eta_n}{2 \cdot \eta_n} = \frac{1 - 0,842}{2 \cdot 0,842} = 0,0938$$

Выражение для механической характеристики полного момента сопротивления на валу электродвигателя имеет вид:

$$M_c = \Delta M_c + k \cdot \omega_{дв. ном}^3$$

При частоте 50 Гц нагрузка проходит через точку номинального режима двигателя. Коэффициент k при этом равен:

$$k = \frac{M_{дв. ном} - M_{с.дв}}{\omega_{дв. ном}^3} = \frac{13,256 - 1,262}{301,536^3} = 0,0000004375$$

Насосная нагрузка описывается функцией:

$$M_c = 2,505 + 0,0000004375 \cdot \omega^3$$

2.2.4 Расчет электромеханических характеристик электродвигателя.

Зависимость тока ротора Γ_2 , приведенного к обмотке статора, от скольжения s определяется по следующей формуле:

$$\Gamma_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + R'_2 \cdot s^{-1})^2 + (X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2})^2}}$$

$$= \frac{220}{\sqrt{(1,152 + 1,137 \cdot s^{-1})^2 + (2,321 + 3,165)^2}};$$

Численные значения характеристики тока ротора приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Численные значения характеристики тока ротора.

Γ_2, A	0	15.98	24.98	29.70	32.34	33.95	35.01	36.67	36.98
$\omega, \text{рад/с}$	314.13	283.03	251.92	220.82	189.72	158.62	127.52	34.21	3.11

График электромеханической характеристики $\omega = f(\Gamma_2)$ приведен на рисунке 2.5.

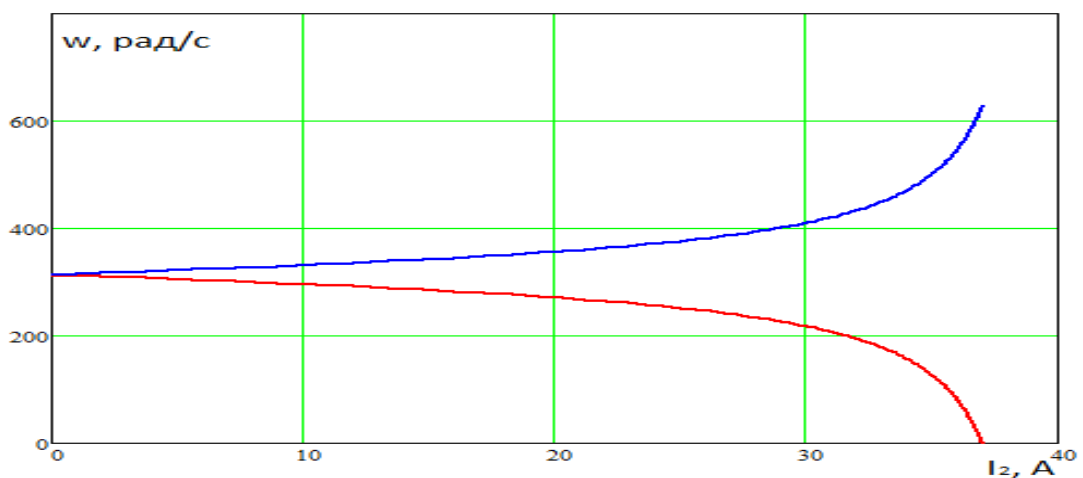


Рисунок 2.5 - Электромеханическая характеристика асинхронного электродвигателя

Для построения электромеханической характеристики тока обмотки статора использовано следующее выражение:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + \Gamma_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot \Gamma_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}}$$

$$= \sqrt{I_0^2 + \Gamma_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot \Gamma_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}}$$

$$\text{Где } \sin \varphi_{2H} = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + R_2 \cdot s^{-1})^2 + X_{KH}^2}} = \frac{5,527}{\sqrt{(1,152 + 1,137 \cdot s^{-1})^2 + 5,527^2}};$$

Таблица 2.7 - Численные значения характеристики тока ротора

$I_1, \text{ A}$	1.58	16.68	25.99	30.88	33.63	35.30	36.39	38.12	38.44
$\omega, \text{ рад/с}$	314.13	283.03	251.92	220.82	189.72	158.62	127.52	34.21	3.11

Электромеханические характеристики двигателя приведены на рисунке 2.6.

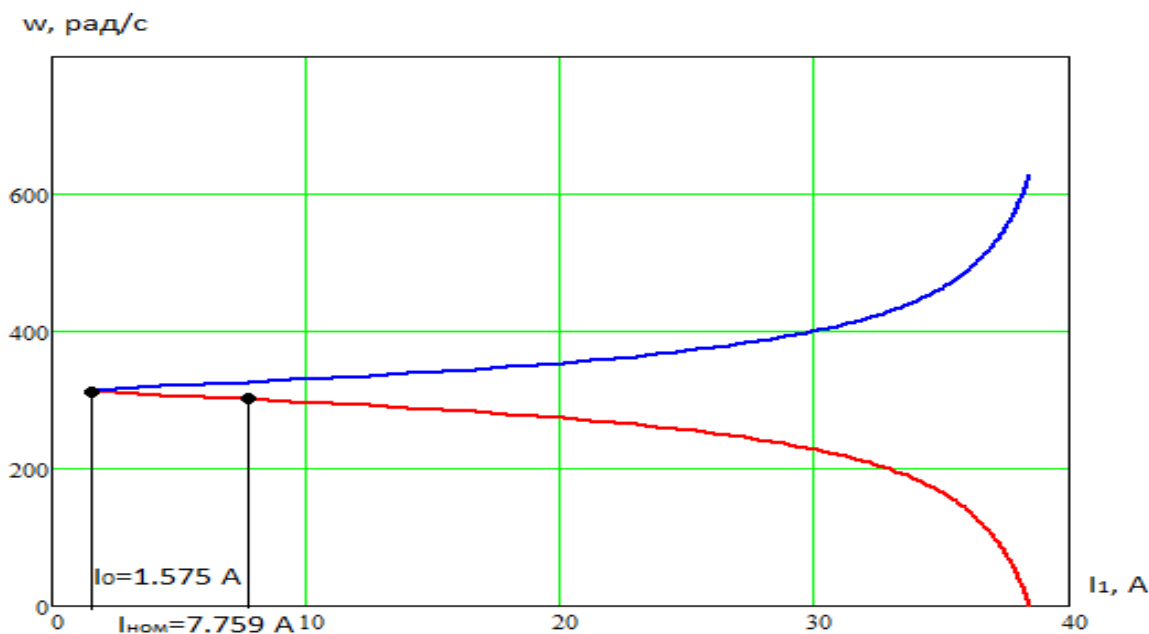


Рисунок 2.6 - Электромеханическая характеристика тока обмотки статора

Номинальный ток ротора определяется при номинальном скольжении:

$$\Gamma_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + R_2 \cdot s^{-1})^2 + (X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2})^2}}$$

$$= \frac{220}{\sqrt{(1,152 + 1,137 \cdot 0,04^{-1})^2 + (2,321 + 3,165)^2}} = 7,313 \text{ А.}$$

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + \Gamma_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot \Gamma_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}}$$

$$= \sqrt{I_0^2 + \Gamma_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot \Gamma_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}}$$

2.2.5 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии

Применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получить новые качества систем и объектов.

Весьма ощутимая экономия электроэнергии производится за счет изменения того или иного технологического параметра. Например, в случае если речь идёт о транспортёре или конвейере – то появляется возможность регулировать скорость его движения. Если же речь идёт о насосе или вентиляторе – то становится можно поддерживать давление и регулировать производительность. Если это станок, то можно плавно регулировать скорость подачи или главного движения.

Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты дает применение частотного регулирования на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До сих пор самым распространённым способом регулирования производительности таких объектов является использование задвижек или регулирующих клапанов, но сегодня доступным становится частотное регулирование асинхронного

двигателя, приводящего в движение, например, рабочее колесо насосного агрегата или вентилятора.

2.2.6 Выбор преобразователя частоты

Выбираем преобразователь частоты марки ИРБИ 823-4,0 (Рисунок 2.7) со следующими параметрами, которые приведены в таблице 2.8:

Таблица 2.8 – Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение U_H , В	Выходная частота f_H , Гц	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя P_2 , кВт
	$U_{1л}$, В	f_c , Гц			$I_{нн}$, А	$I_{макс}$, А	
ИРБИ 823-4,0	3×380	50	380	0÷100	11	12,1	4,0



Рисунок 2.7 – Преобразователь частоты марки ИРБИ 823-4,0

При этом должны выполняться следующие условия:

$$I_{\text{нн}} \geq I_{1\text{н}}$$

$11 \geq 8,2$ – условие выполняется.

$$U_{\text{и}} \geq U_{\text{н.дв}}$$

$380 \geq 380$ – условие выполняется.

2.2.7 Выбор закона частотного регулирования

С учетом того, что диапазон насосы имеют небольшой диапазон регулирования скорости и не требуют обеспечения высокой кратности пускового и максимального моментов, в качестве законов регулирования электропривода могут быть приняты скалярные законы регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$ и $U_1/f_1^2 = \text{const}$. Последний является более сложным в реализации, но за счет дополнительного снижения напряжения позволяет уменьшить потребляемую из сети электроэнергию.

2.2.8 Расчет искусственных характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ системы регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости

Расчет характеристик для частот $f_1 = 50; 40; 30; 20$ Гц производился с учетом регулирования $Z_p = \frac{U_{1\text{н}}}{f^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088$

$$\text{при } f_{1\text{н}1} = 50 \text{ Гц} \quad f_{1*1} = f_{1\text{н}1}/f_{1\text{н}} = 50/50 = 1$$

$$\text{при } f_{1\text{н}2} = 40 \text{ Гц} \quad f_{1*2} = f_{1\text{н}2}/f_{1\text{н}} = 40/50 = 0,8$$

$$\text{при } f_{1\text{н}3} = 30 \text{ Гц} \quad f_{1*3} = f_{1\text{н}3}/f_{1\text{н}} = 30/50 = 0,6$$

при $f_{1H4} = 20$ Гц $f_{1*4} = f_{1H4}/f_{1H} = 20/50 = 0,4$

Фазные напряжения обмотки статора асинхронного двигателя при разных частотах питающего напряжения:

$$U_{1H1} = Z_p \cdot f_{1H1}^2 = 0,088 \cdot 50^2 = 220 \text{ В};$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2}^2 = 0,088 \cdot 40^2 = 140,8 \text{ В};$$

$$U_{1H3} = Z_p \cdot f_{1H3}^2 = 0,088 \cdot 30^2 = 79,2 \text{ В};$$

$$U_{1H4} = Z_p \cdot f_{1H4}^2 = 0,088 \cdot 20^2 = 35,2 \text{ В};$$

Расчет скоростей идеального холостого хода в соответствии с частотами питающего напряжения:

$$\omega_{01} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,141 \cdot 50}{1} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{02} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,141 \cdot 40}{1} = 251,327 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{03} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,141 \cdot 30}{1} = 188,496 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{04} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,141 \cdot 20}{1} = 125,664 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

Расчет токов холостого хода при заданных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*1}} = \frac{220}{129,098 \cdot 1} = 1,704 \text{ А};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{220}{129,098 \cdot 0,8} = 1,363 \text{ А};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1н3}}{X_{\mu н} \cdot f_{1*3}} = \frac{220}{129,098 \cdot 0,6} = 1,022 \text{ A};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1н4}}{X_{\mu н} \cdot f_{1*4}} = \frac{220}{129,098 \cdot 0,4} = 0,682 \text{ A};$$

Электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ для выбранных частот находим из выражения:

$$\Gamma_2(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{(R_1 + R_2 \cdot s^{-1})^2 + X_{кн}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_{\mu н} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2}}$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$

Искусственные электромеханические характеристики тока ротора представлены на рисунке 2.8.

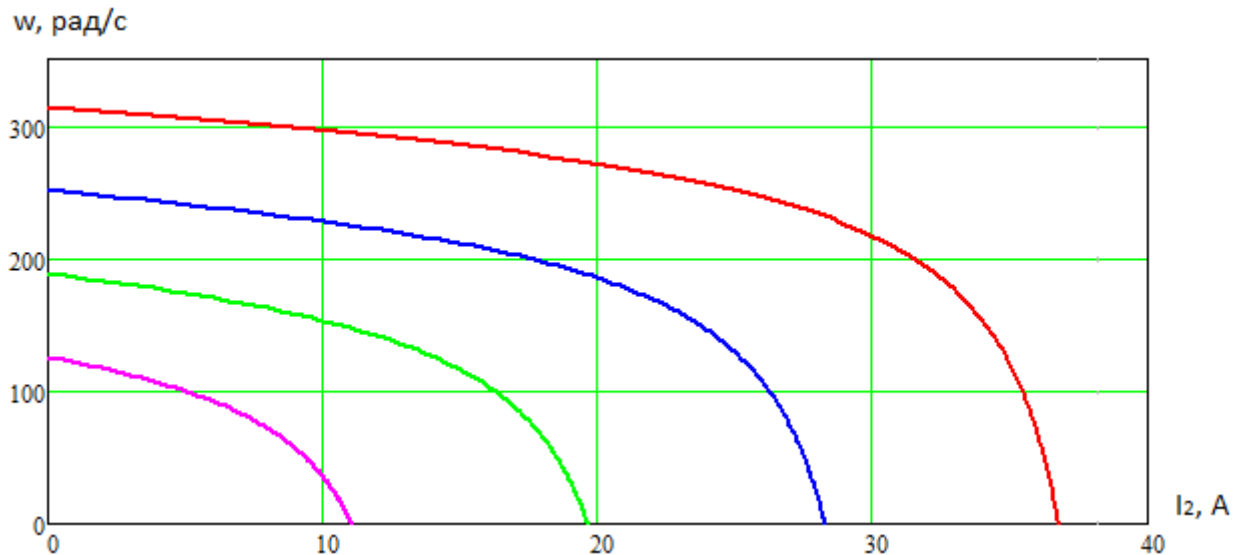


Рисунок 2.8 -. Искусственные электромеханические характеристики тока ротора. $\Gamma_2(\omega)$

Электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ для выбранных частот получаем из выражения:

$$I_1(s, f) = \sqrt{I_0(f)^2 + \Gamma_2(s, f)^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot \Gamma_2(s, f) \cdot \sin \varphi_{2H}(s, f)}$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$$

где

$$\sin \varphi_{2H}(s, f) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{(R_1 + R_2 \cdot s^{-1})^2 + X_{KH}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}}$$

Искусственные электромеханические характеристики тока статора $I_1(\omega)$ представлены на рисунке 2.9.

Ток холостого хода асинхронного двигателя в зависимости от частоты:

$$I_{01}(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}.$$

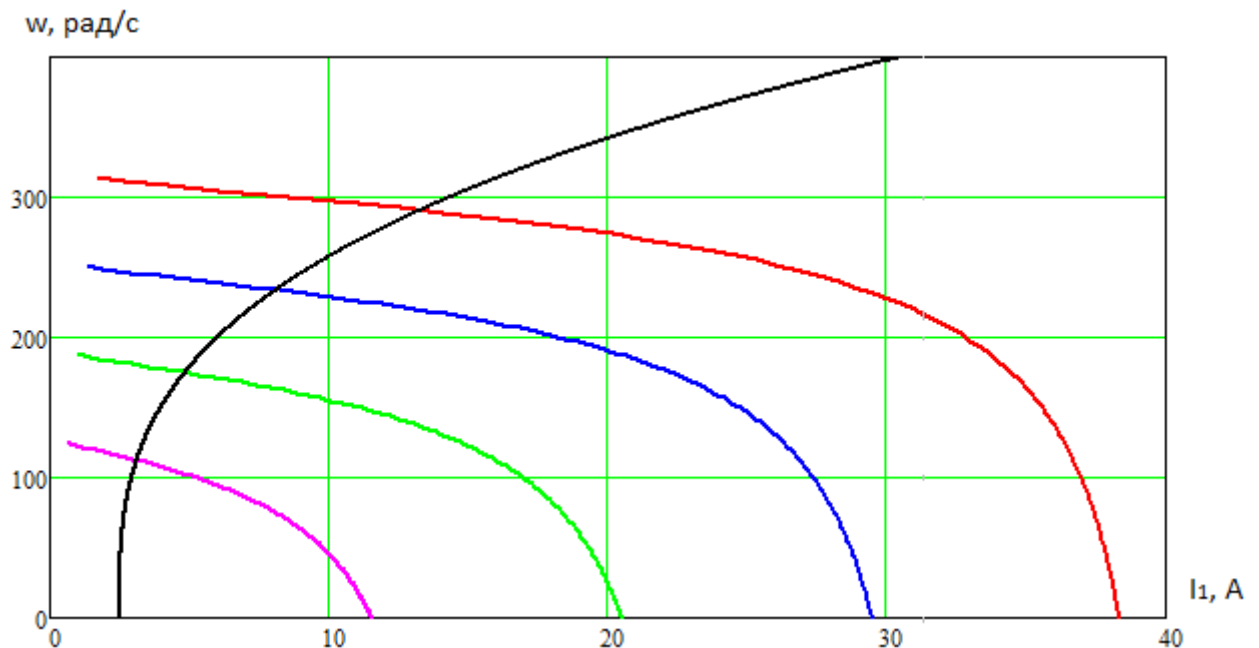


Рисунок 2.9 - Искусственные электромеханические характеристики тока статора $I_1(\omega)$

Рассчитываем искусственные механические характеристики асинхронного двигателя $M(\omega)$:

$$M(s, f)$$

$$= \frac{m \cdot (U_1(f))^2 \cdot R_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + (R_1 + R_2 \cdot s^{-1})^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2 \right]};$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s).$$

Искусственные механические характеристики асинхронного двигателя представлены на рисунке 2.10.

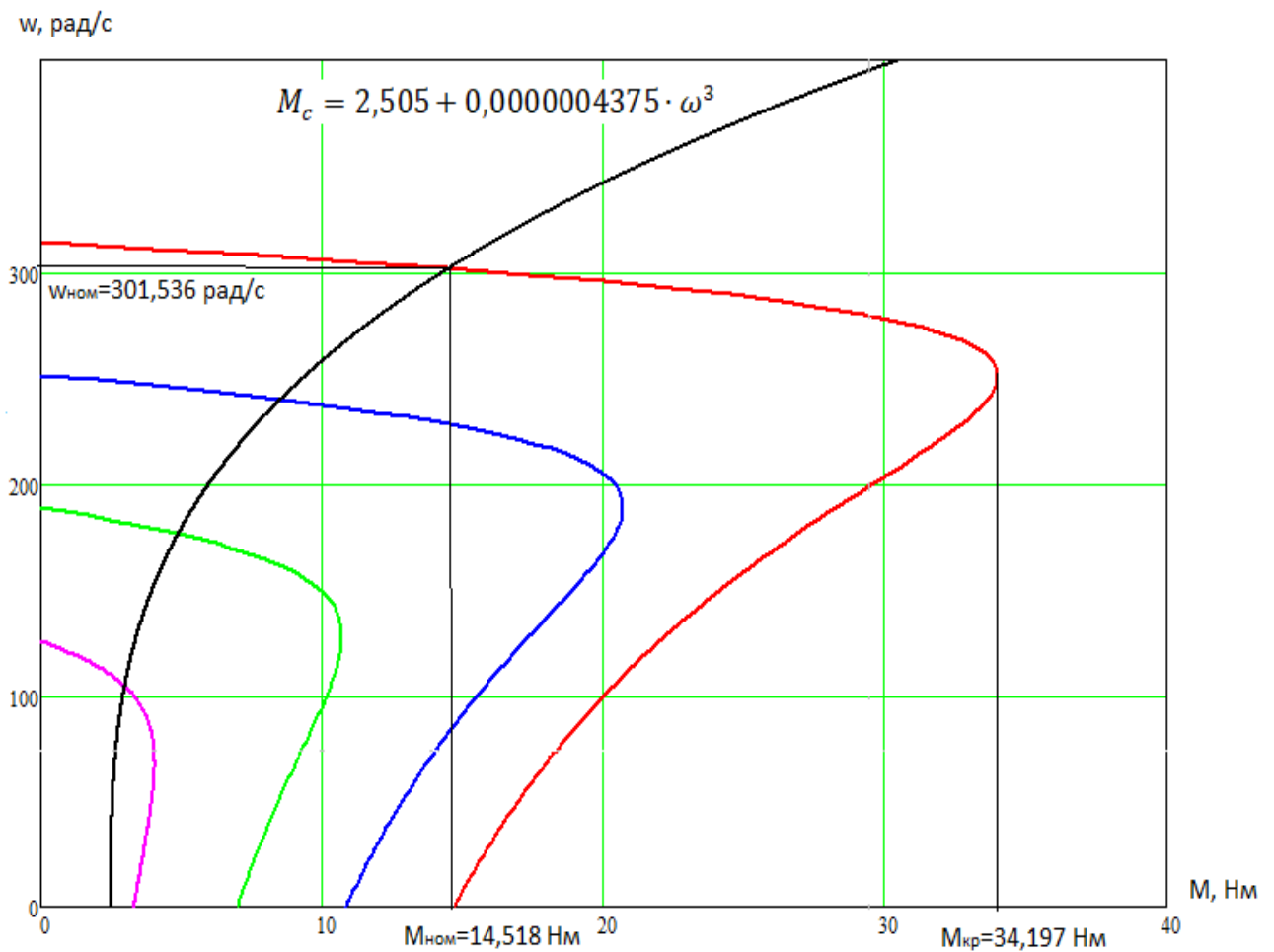


Рисунок 2.10 - Искусственные механические характеристики двигателя $M(\omega)$

На рисунке 2.10 видно, что при частоте 20 Гц механическая характеристика асинхронного электродвигателя не удовлетворяет требованиям устойчивости,

для того, чтобы это исправить необходимо принять меры, в виде увеличения напряжения при неизменной частоте.

Увеличим фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя на 10 вольт, для этого нам потребуется изменить Z_p , и вместо 0,088 принять его равным $Z_p = 0,1125$:

$$U_{1H4} = Z_p \cdot f_{1H4}^2 = 0,1125 \cdot 20^2 = 45 \text{ В};$$

Искусственные механические характеристики асинхронного двигателя с учетом изменения фазного напряжения обмотки статора для частоты 20 Гц представлены на рисунке 2.11.

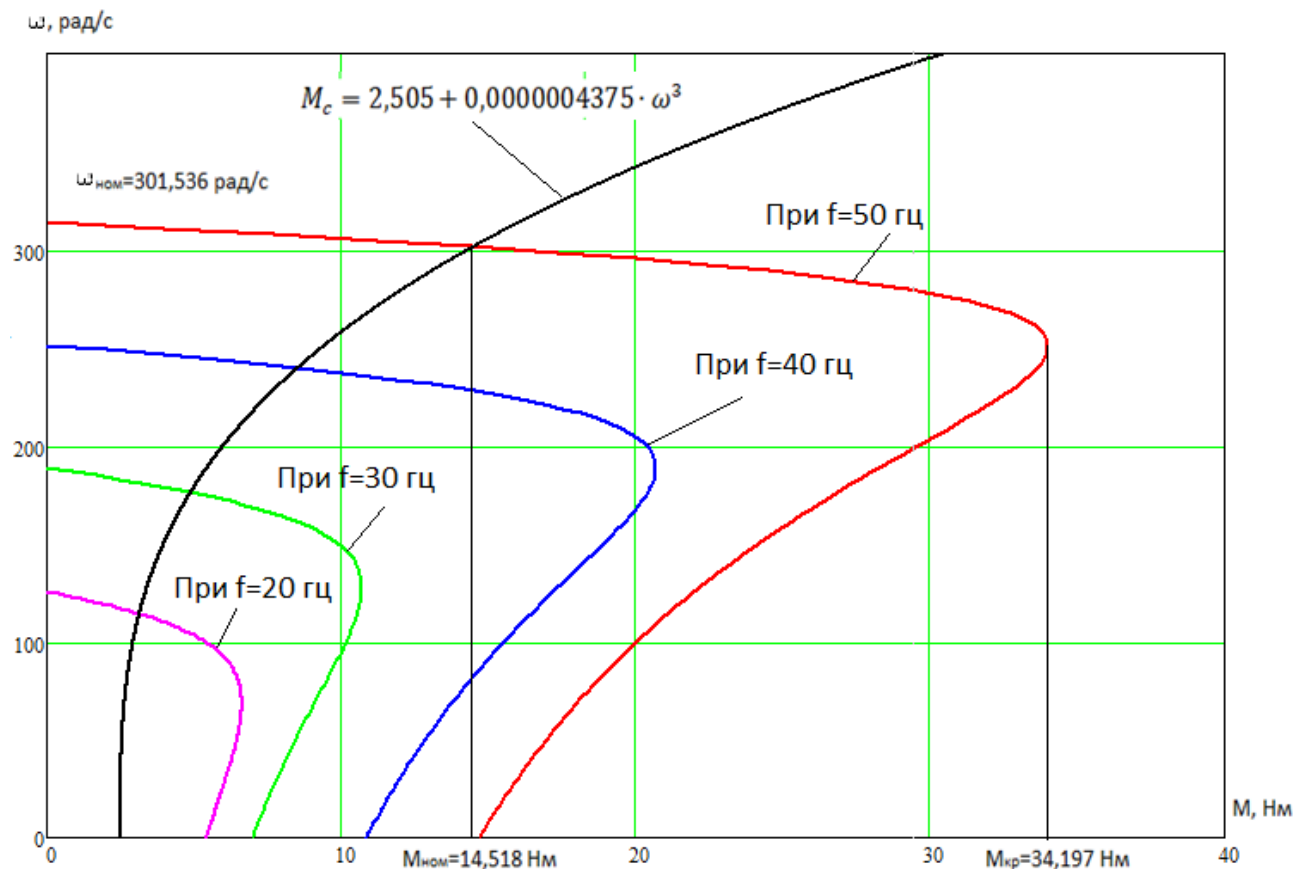


Рисунок 2.11 - Искусственные механические характеристики двигателя $M(\omega)$ с учетом вольтдобавки

3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА УГОЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В настоящее время имитационное моделирование применяется в самых разных областях человеческой деятельности: в промышленности, на транспорте, в экономике, экологии, в сферах информационной безопасности и услуг, а также в сферах общественных, государственных и военных отношений. При этом спектр решаемых задач является весьма широким, а именно:

- научные исследования (планирование экспериментов, определение статистических характеристик случайных факторов, проверка статистических гипотез);
- автоматическое проектирование;
- отработка рабочих режимов пилотных объектов;
- автоматическое управление;
- организация, оценка, планирование и прогнозирование человеческих отношений;
- учебная деятельность;

В процессе моделирования пуска, холостого хода и работы под нагрузкой асинхронного двигателя мы сможем оценить возможности и преимущества работы двигателя на разных частотах и при разном напряжении.

3.1 Моделирования прямого пуска двигателя

При исследовании прямого пуска асинхронного двигателя принимаем ряд допущений:

- 1) Симметричный режим работы, то есть параметры обмоток всех фаз имеют одинаковые значения;
- 2) магнитное поле электрической машины имеет синусоидальное распределение вдоль воздушного зазора;
- 3) не учитываются потери в стали, вызываемые протеканием вихревых токов в магнитопроводе двигателя и его перемагничиванием;
- 4) не учитывается насыщение магнитной цепи АД;
- 5) эффект вытеснения токов в проводниках ротора пренебрежимо мал.

Произведем моделирование прямого пуска асинхронного электродвигателя в программе MATLAB (SIMULINK). Модель двигателя получена из раздела библиотеки SimPowerSystem.

На рисунке 3.1 представлена схема моделирования прямого пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с насосной нагрузкой. Параметры двигателя были рассчитаны для схемы замещения и представлены ранее в таблице 2.4.

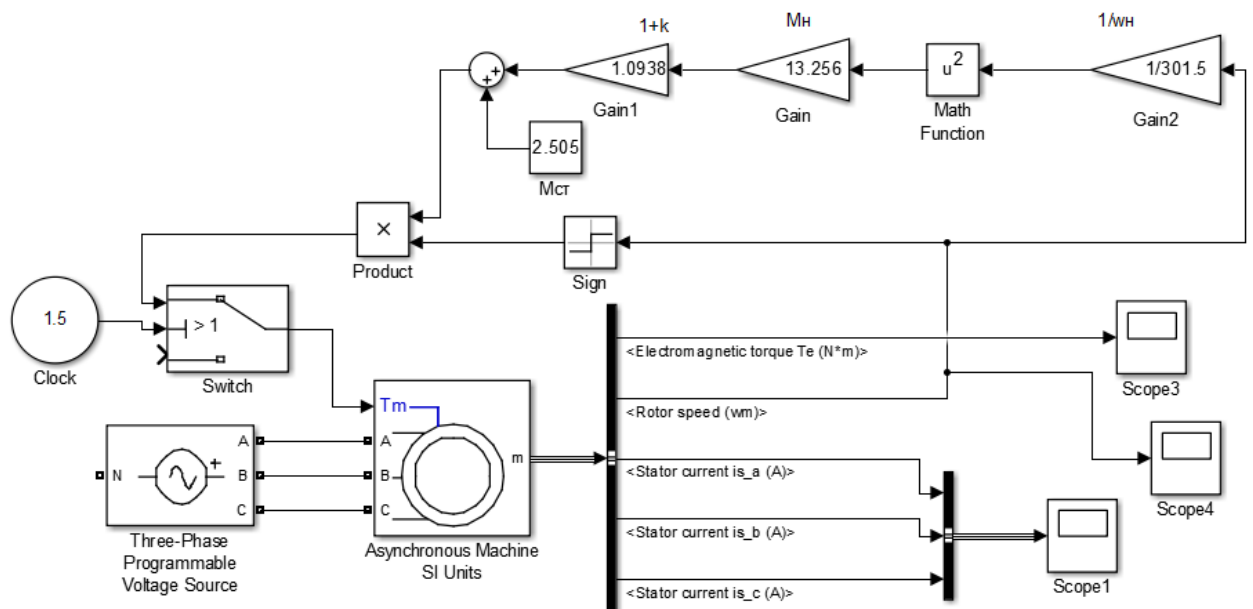


Рисунок 3.1 - Модель электропривода переменного тока с насосной нагрузкой

Результаты моделирования процесса пуска под нагрузкой и выхода на рабочую частоту представлены на рисунке 0. На отрезке времени с 0 до 1,0 секунды происходит пуск двигателя, а с 1,0 по 1,5 секунды двигатель работает в установившемся режиме.

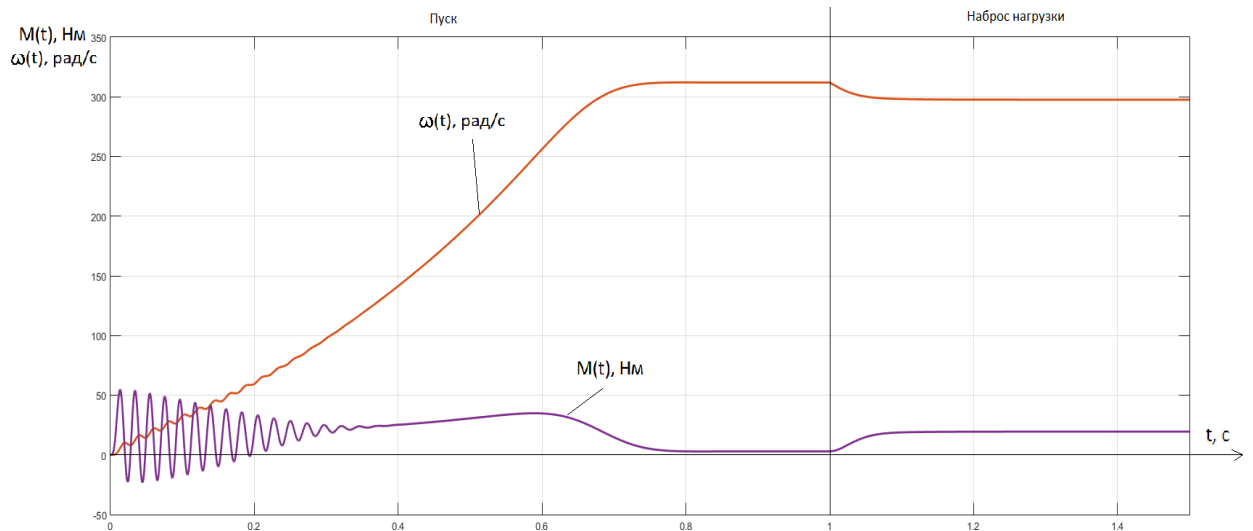


Рисунок 3.2 - Переходные процессы в АД при прямом пуске и набросе номинальной нагрузки

Параметры блока асинхронного двигателя представлены на рисунке 3.3.

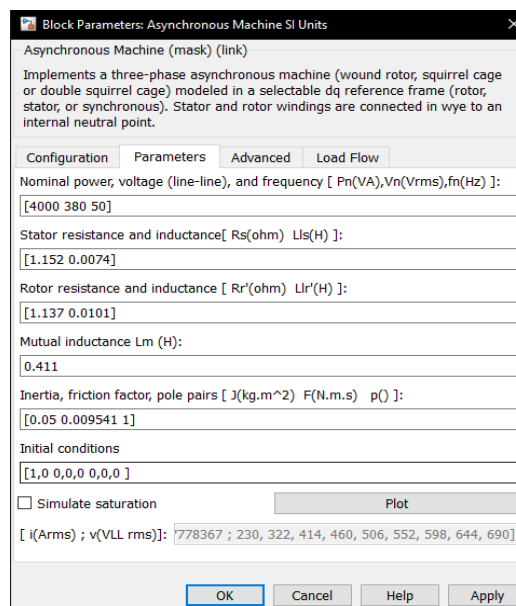


Рисунок 3.3 Параметры модели двигателя для получения переходных характеристик при прямом пуске и набросе нагрузки

3.2 Структурные схемы и моделирование асинхронной двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат.

Существующий сегодня научный потенциал ознаменовал появление новых подходов в методах построения системы, включающей асинхронный электропривод и частотный преобразователь. В построении одного из них применяются дифференциальные уравнения, описывающие асинхронный двигатель в контексте теорий общих электрических машин.

Решая задачи, связанные анализом и синтезом, затрагивающим оборудование такое как регулируемые асинхронные электропривода, в обычном случае используется модель электродвигателя, составленная базово как обобщенная электрическая машина, и расположенная в поле, которым обладает неподвижная или вращающаяся система координат. В данной системе каждая координата привода рассматривается как векторная величина. Эти величины расположены в качестве проекций на одну и другую координатную ось, и из них можно через координатные преобразования выделить каждую пропорциональную или постоянную величину координаты привода. Точно описать обобщенную электрическую машину можно при помощи дифференциальных уравнений, записываемых в различные координатные системы. Система описывается с принятыми координатными осями α и β , которые считаются неподвижными по отношению к статору и осями d и q , которые считаются неподвижными по отношению к ротору. Записываемые относительно этих осей уравнения представляют собой частное математическое описание процесса, происходящего в машине. Рисунок 3.4 представляет неподвижную систему координат, с расположенной в ней непрерывной линеаризованной системой ПЧ-АД (Преобразователь частоты - Асинхронный электродвигатель).

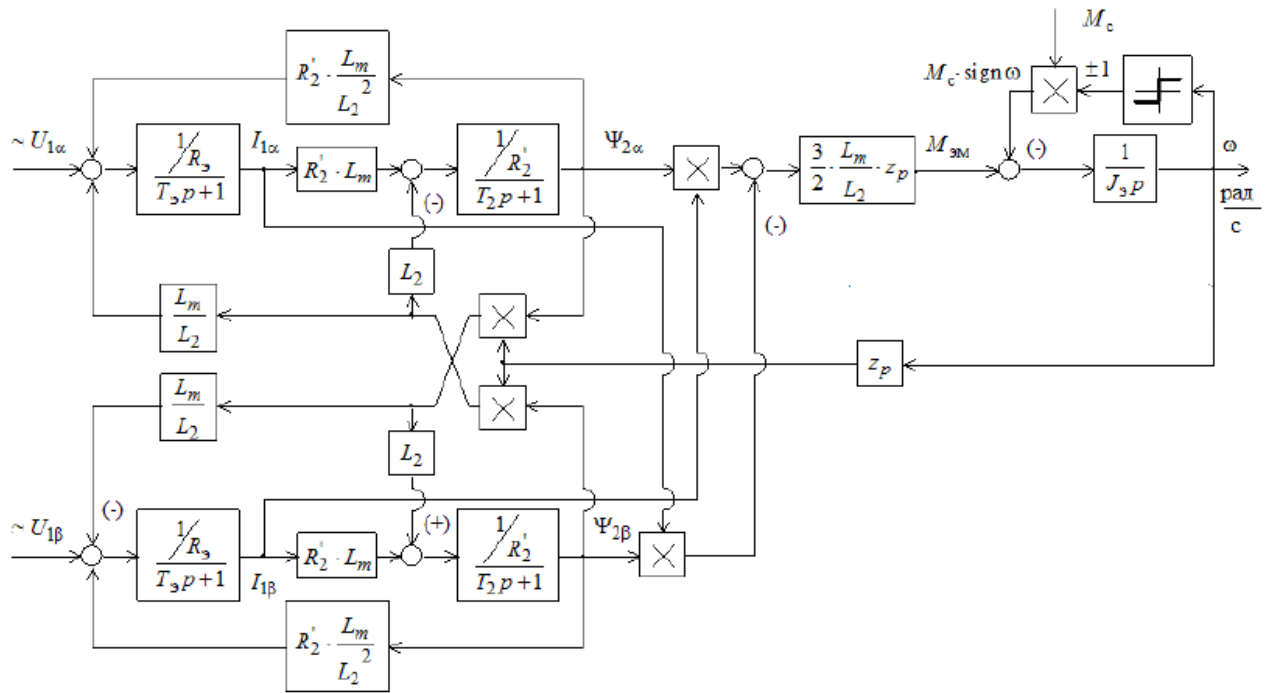


Рисунок 3.4. Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат

Параметры структурной схемы асинхронного двигателя в неподвижной системе координат:

Эквивалентные индуктивности обмоток статора и ротора:

$$L_1 = L_{1\delta} + L_\mu = 0,0074 + 0,411 = 0,4184 \text{ Гн};$$

$$L_2 = L_{2\delta} + L_\mu = 0,0101 + 0,411 = 0,4211 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,411^2}{0,4184 \cdot 0,4211} = 0,04125.$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_\Sigma = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_\mu^2}{L_2^2} = 1,152 + 1,137 \cdot \frac{0,411^2}{0,4211^2} = 2,23511 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{0,4211}{1,137} = 0,37036.$$

3.3 Моделирование системы скалярного управления ПЧ-АД с

законом управления $U_1/f_1^2 = const$

44

3.3.1 Моделирование источника питания асинхронного двигателя

Для питания двигателя будем использовать подсистему «Source», структурная схема, которая приведена на рисунке 3.6. Данная подсистема на выходе выдает 2 синусоидальных сигнала сдвинутых относительно друг друга на 90 градусов, но в зависимости от входного значения, в данном случае частоты питающего напряжения, амплитуда выходных синусоид зависит от этой частоты по закону $U_1 / f_1^2 = const.$

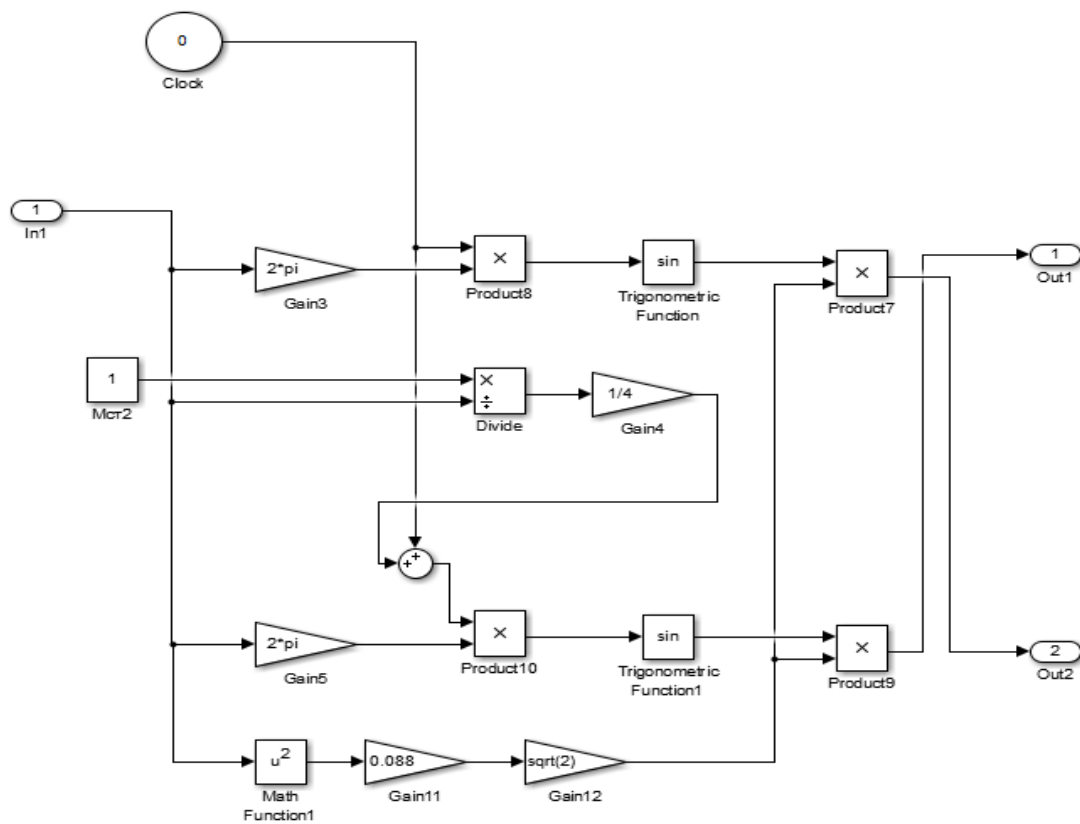


Рисунок 3.6 - Имитационная модель подсистемы «Source»

Для проведения исследований пуска и работы под нагрузкой двигателя на частоте 20 Гц необходимо использовать вольт-добавку, для того чтобы номинальный режим работы двигателя при данной частоте был установившемся. Имитационная модель подсистемы «Source» с вольт-добавкой представлена на рисунке 3.7.

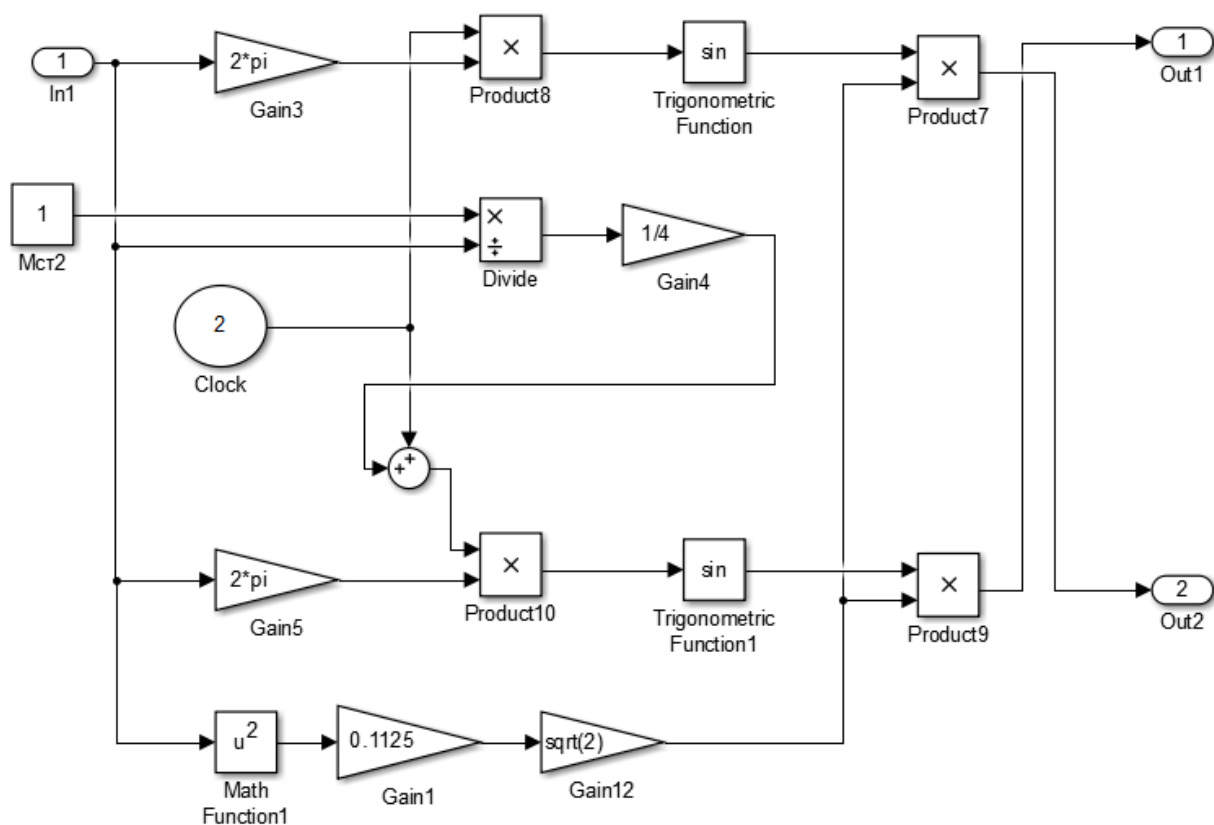


Рисунок 3.7 - Имитационная модель подсистемы «Source» для исследований при частоте 20 Гц

3.3.2 Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой.

Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера, которая применяется для моделирования систем электропривода, изображена на рисунке 3.7. На изображении данной схемы приняты обозначения:

M_{dv} – электромагнитный момент двигателя, Н·м;

M_{cP} – приведённый к валу двигателя статический момент реактивного характера, Н·м;

J – приведённый к валу двигателя эквивалентный момент инерции движущихся масс, кг·м².

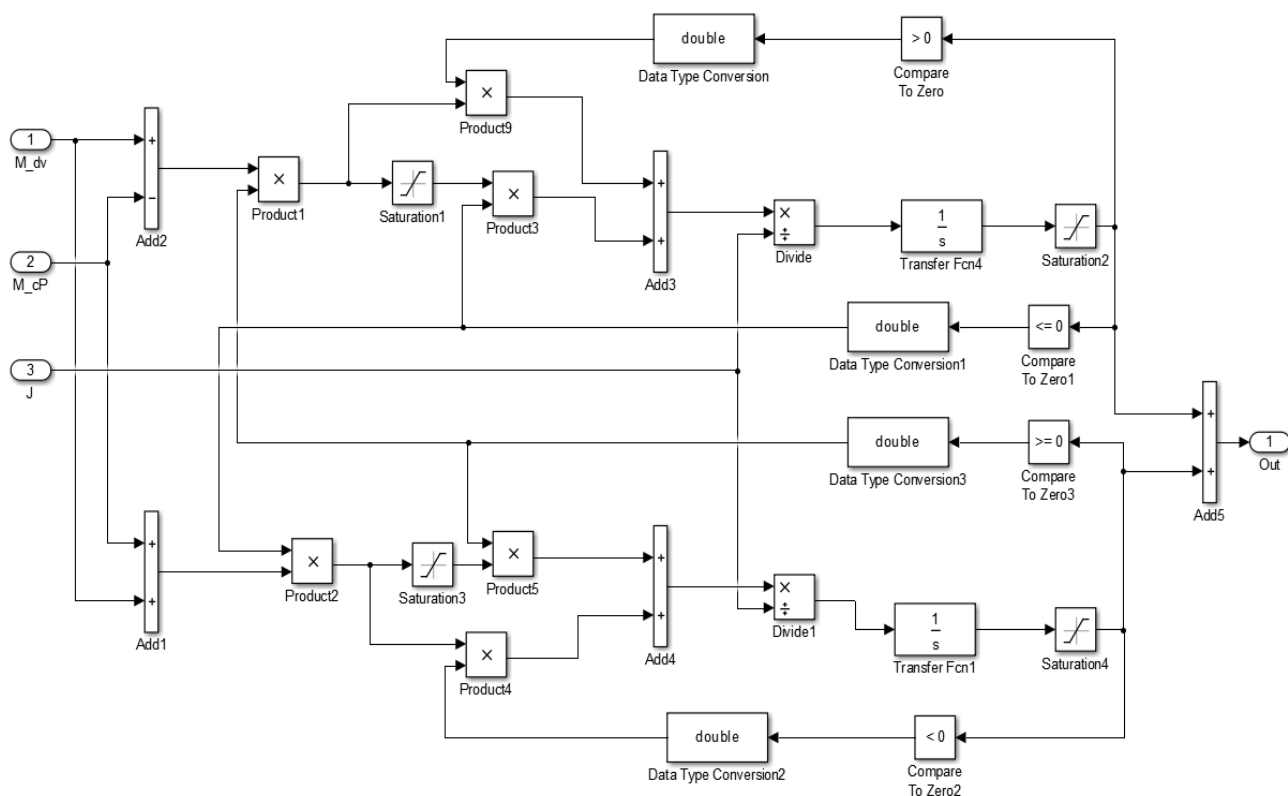


Рисунок 3.8 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы с реактивной нагрузкой (Подсистема «Subsystem»)

3.3.3 Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой.

Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой представлена на рисунке 3.9 а её временна характеристика на рисунке 3.10. Параметры настройки имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной характеристикой определяются по выражениям:

$$t_1 = 0,5 \text{ с}, \quad t_2 = 1 \text{ с};$$

$$T_{и1} = t_1 = 0,5 \text{ с};$$

$$T_{и2} = t_1 + t_2 = 1,5 \text{ с};$$

$$k = 0,5 \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2} = 0,5 \cdot \frac{0,5}{0,5 + 1} = 0,166.$$

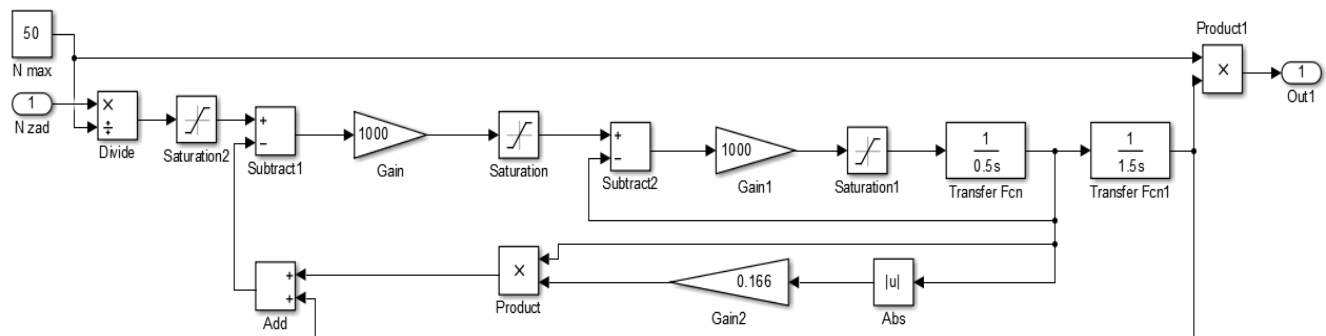


Рисунок 3.9 - Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с s-образной характеристикой (подсистема «Zadatchik»)

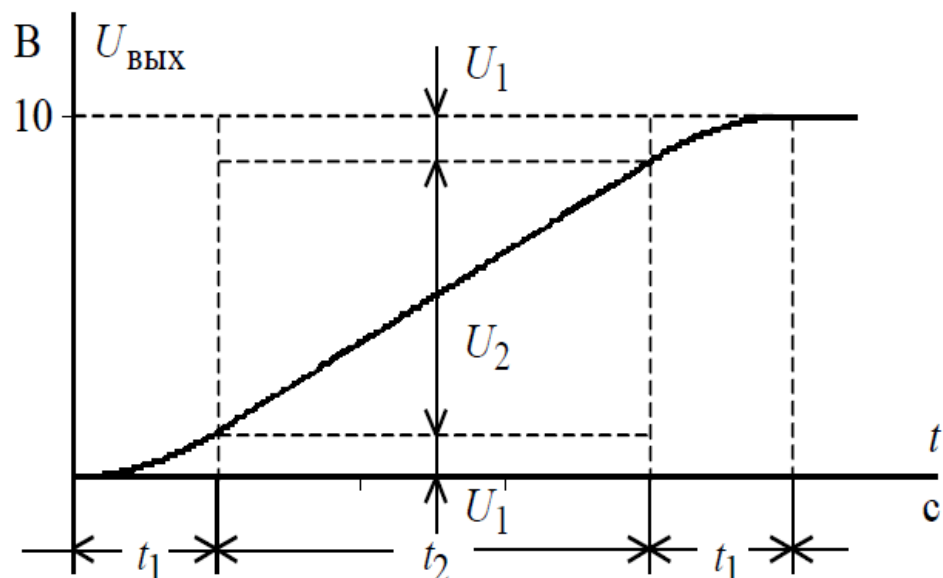


Рисунок 3.10 - Временная характеристика s-образного задатчика интенсивности

3.3.4 Исследование разомкнутой системы ПЧ-АД

Рассматривая привод с длительным режимом работы при неменяющейся скорости, диапазон которой не превышает 1:10, и принимая, что отсутствуют какие-либо особые требования относительно динамики процесса, будет

целесообразным применить простейшую структуру и законы, применяемы при частотном управлении.

Целесообразно, также, применение разомкнутой структуры для простейшего случая реализации частотно-регулируемого асинхронного электропривода. На рисунке 3.11 представлено применение разомкнутой структуры для реализации частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением в виде функциональной схемы. Рассматривается двухфазный асинхронный двигатель в статичной координатной системе α и β , с обозначением сигналов, ответственных за задание и управление, знаком «*», также с принятыми следующими обозначениями, а именно:

- ω – фактическим значением, которое имеет угловая скорость вращения электродвигателя;

- ЗИС – задатчиком интенсивности скорости, имеющей линейную характеристику;

- ФНУ 1 – формирователем напряжения, посредством которого управляется двухфазный асинхронный электродвигатель. Процесс происходит с формированием двух напряжений U_{α}^* и U_{β}^* в рассматриваемой структурной схеме асинхронного электродвигателя в статичной координатной системе α и β ;

- ФНУ 2 – преобразователем напряжения двухфазного двигателя в напряжение управления 3-х фазным электродвигателем.

Задатчик интенсивности с s-образной характеристикой позволит дополнительно ограничить вторую производную скорости (темп нарастания динамического момента электропривода) и тем самым повысить плавность переходных процессов в электроприводе.

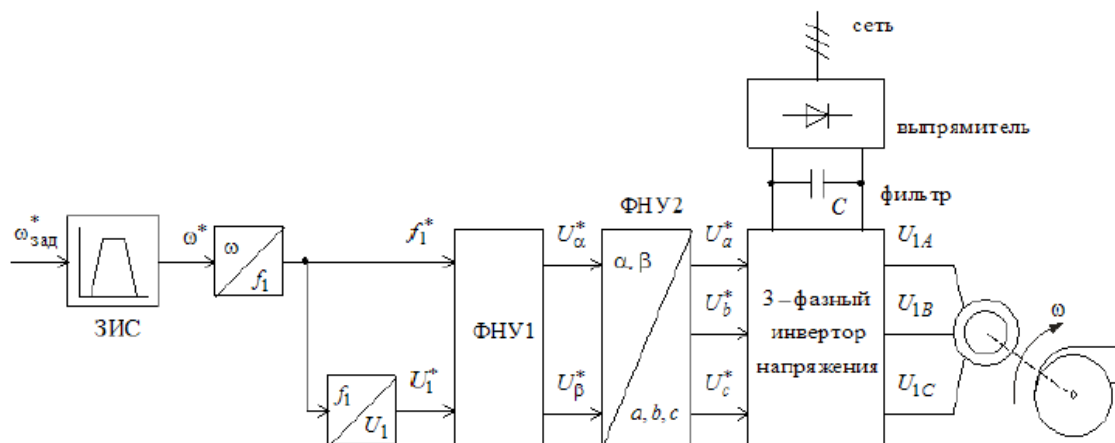


Рисунок 3.11 – Построение функциональной схемы- Частотно-регулируемый асинхронный электропривод (скалярное управление)

Применение задатчика интенсивности скорости простейшим образом решает проблему ограничения динамических нагрузок в электроприводах, в которых невозможны механические перегрузки в рабочих режимах. При максимальной частоте.

3.3.5 Имитационное моделирование разомкнутой системы ПЧ-АД

Произведем имитационное моделирование разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при частотах питающего напряжения 20 и 50 Гц.

Схема набора имитационной модели асинхронного электропривода со скалярным управлением при прямом пуске без задатчика интенсивности и без нагрузки представлена на рисунке 3.12, а под насосной нагрузкой на рисунке 3.13.

Переходные характеристики электромагнитного момента и скорости вращения ротора при прямом пуске двигателя на холостом ходу при частоте 20 Гц представлены на рисунке 3.14, а при частоте 50 Гц на рисунке 3.15.

Переходные характеристики электромагнитного момента и скорости вращения ротора при прямом пуске двигателя под нагрузкой при частоте 20 Гц представлены на рисунке 3.16, а при частоте 50 Гц на рисунке 3.17.

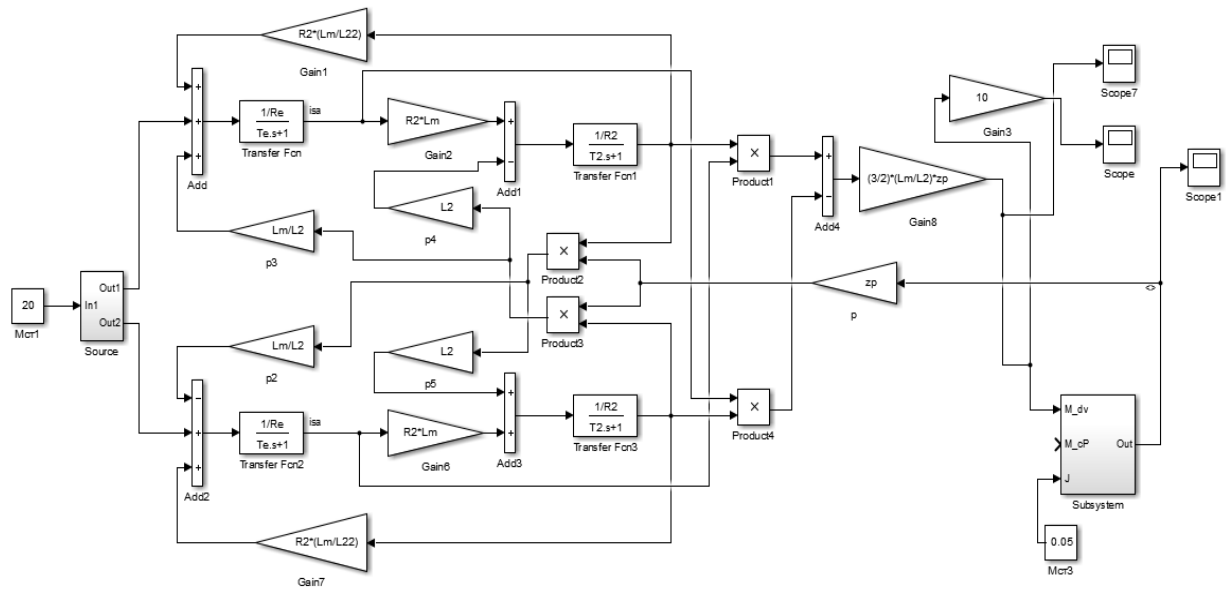


Рисунок 3.12 - Схема модели асинхронного электропривода без задатчика интенсивности и на холостом ходу

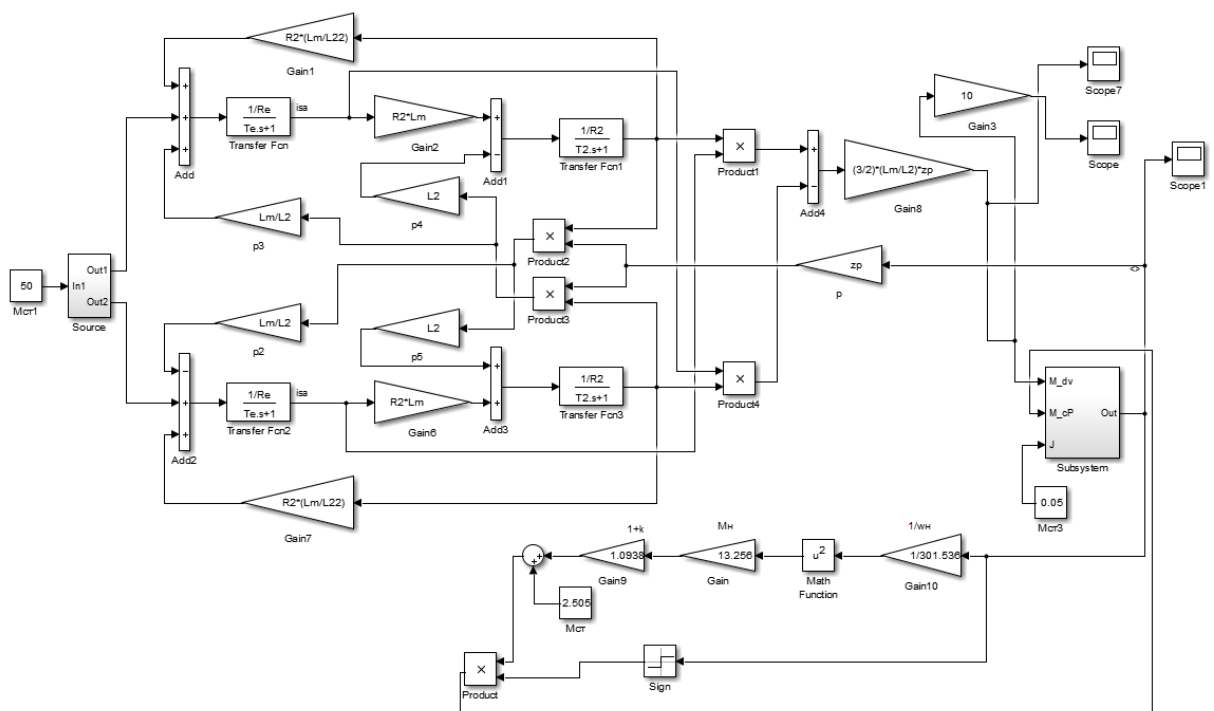


Рисунок 3.13 - Схема модели асинхронного электропривода без задатчика интенсивности и под насосной нагрузкой

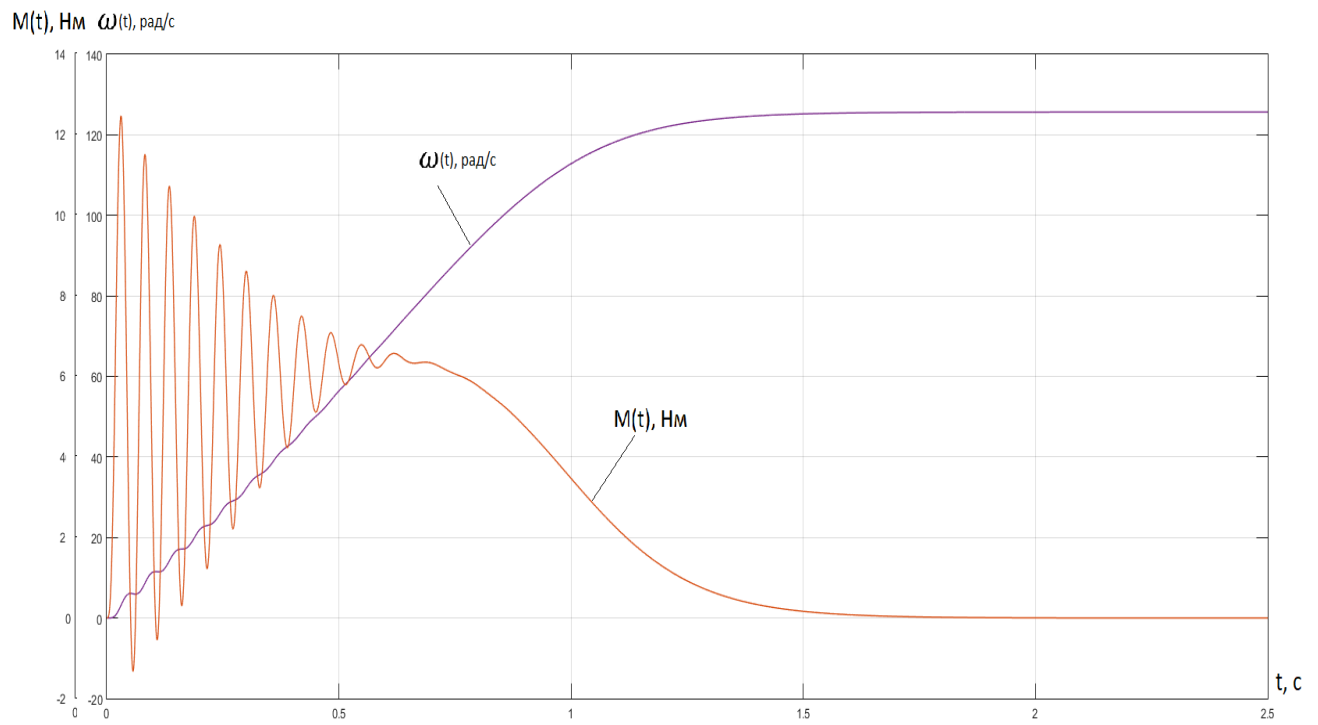


Рисунок 3.14 – Переходные процессы асинхронного электропривода без датчика интенсивности на холостом ходу при частоте 20 Гц

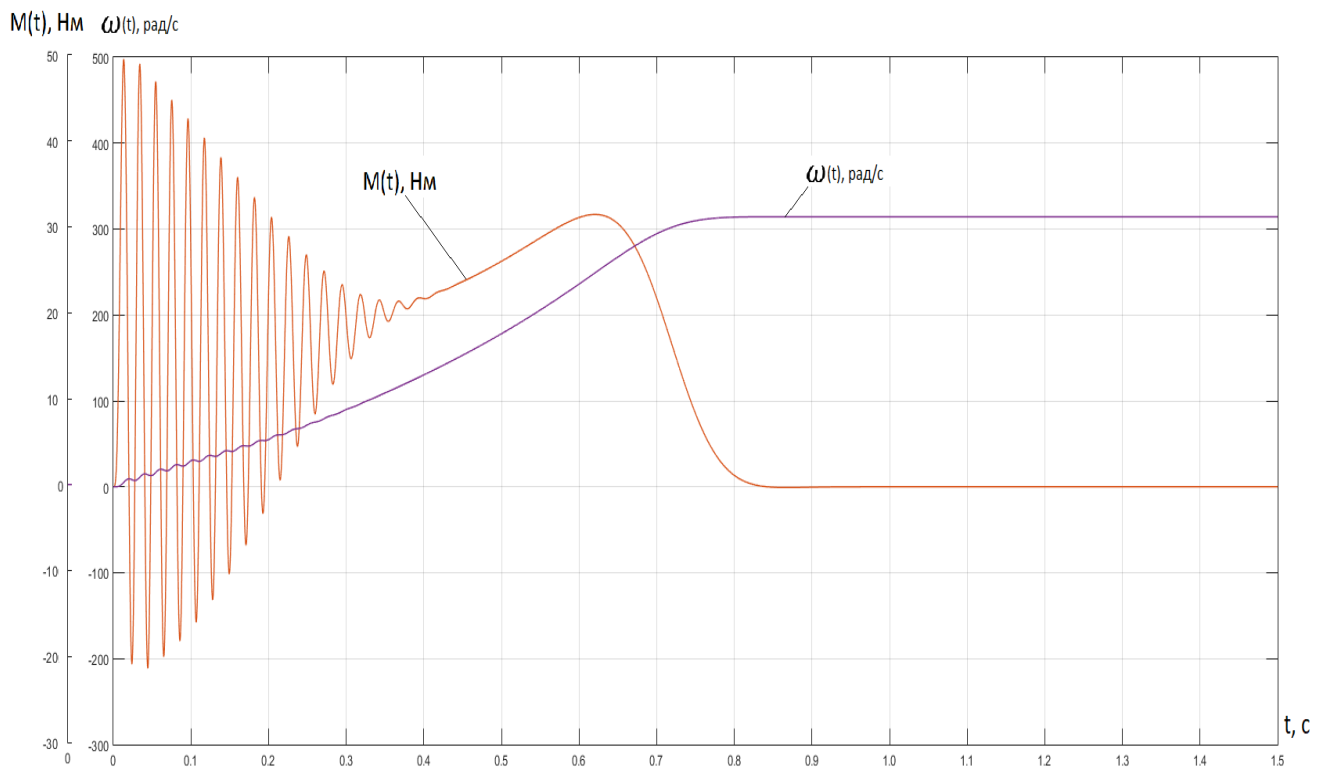


Рисунок 3.15 – Переходные процессы асинхронного электропривода без датчика интенсивности на холостом ходу при частоте 50 Гц

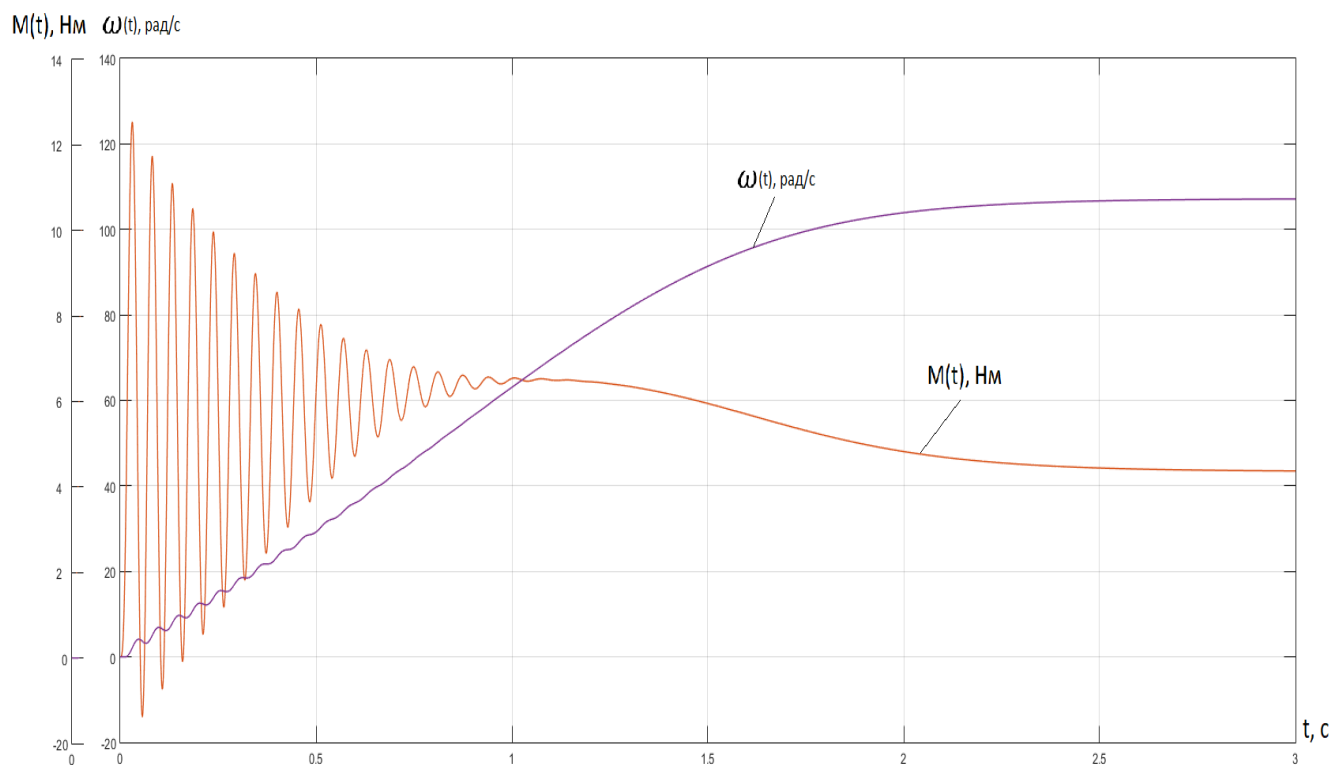


Рисунок 3.16 – Переходные процессы асинхронного электропривода без задатчика интенсивности под насосной нагрузкой при частоте 20 Гц

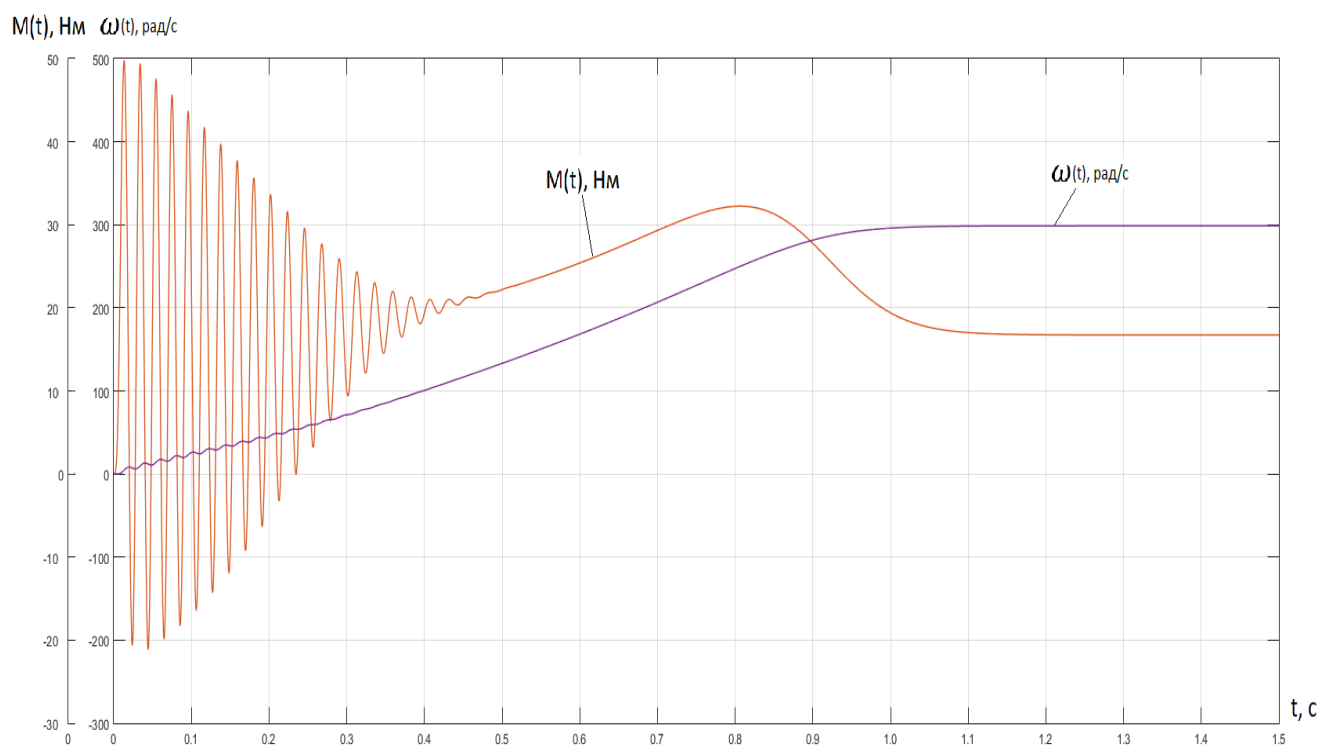


Рисунок 3.17 – Переходные процессы асинхронного электропривода без задатчика интенсивности под насосной нагрузкой при частоте 50 Гц

Выводы:

Из полученных характеристик, полученных при моделировании переходных процессов при прямом пуске двигателя с номинальной нагрузкой, наблюдаются значительные колебания момента (Максимальное значение достигает свыше 50 Нм, минимальное – почти 30 Нм), что свидетельствует о плохом качестве переходных процессов.

Из всего описанного приходим к выводу, что необходимо организовать плавный пуск с ограничением колебаний момента с применением линейного задатчика с S-образной характеристикой.

Схема набора имитационной модели асинхронного электропривода со скалярным управлением при мягком пуске с помощью задатчика интенсивности и без нагрузки представлена на рисунке 3.18, а под насосной нагрузкой на рисунке 3.19.

Переходные характеристики электромагнитного момента и скорости вращения ротора при пуске двигателя через задатчик интенсивности на холостом ходу при частоте 20 Гц представлены на рисунке 3.20, а при частоте 50 Гц на рисунке 3.21.

Переходные характеристики электромагнитного момента и скорости вращения ротора при пуске двигателя с помощью задатчика интенсивности под нагрузкой при частоте 20 Гц представлены на рисунке 3.22, а при частоте 50 Гц на рисунке 3.23.

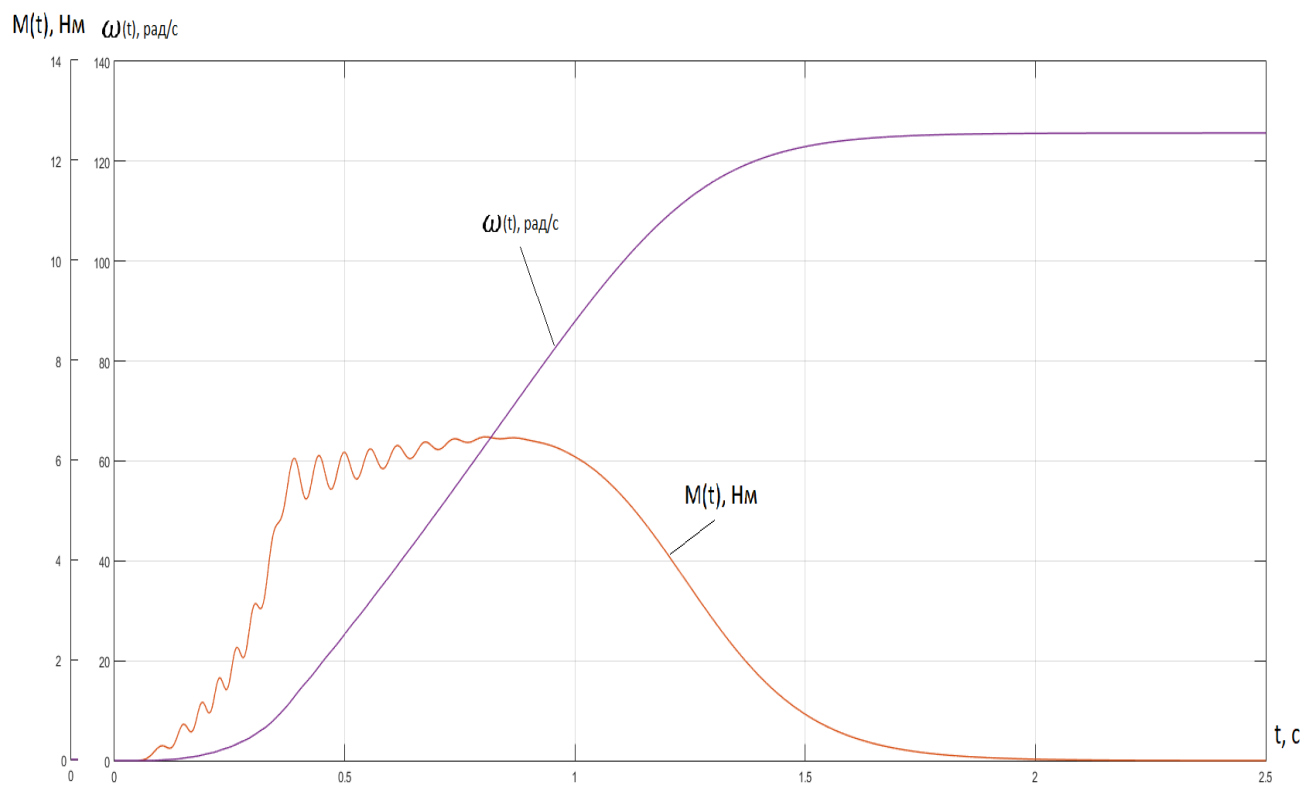


Рисунок 3.20 – Переходные процессы асинхронного электропривода с задатчиком интенсивности на холостом ходу при частоте 20 Гц

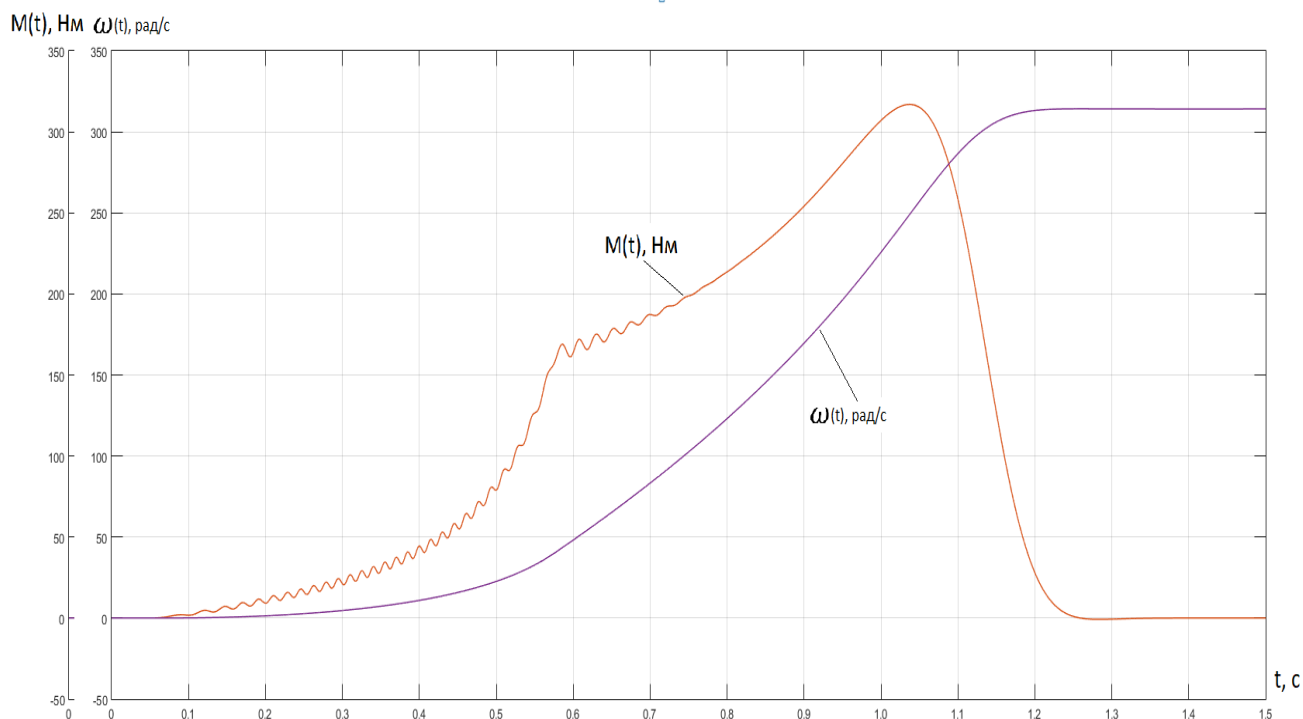


Рисунок 3.21 - Переходные процессы асинхронного электропривода с задатчиком интенсивности на холостом ходу при частоте 50 Гц

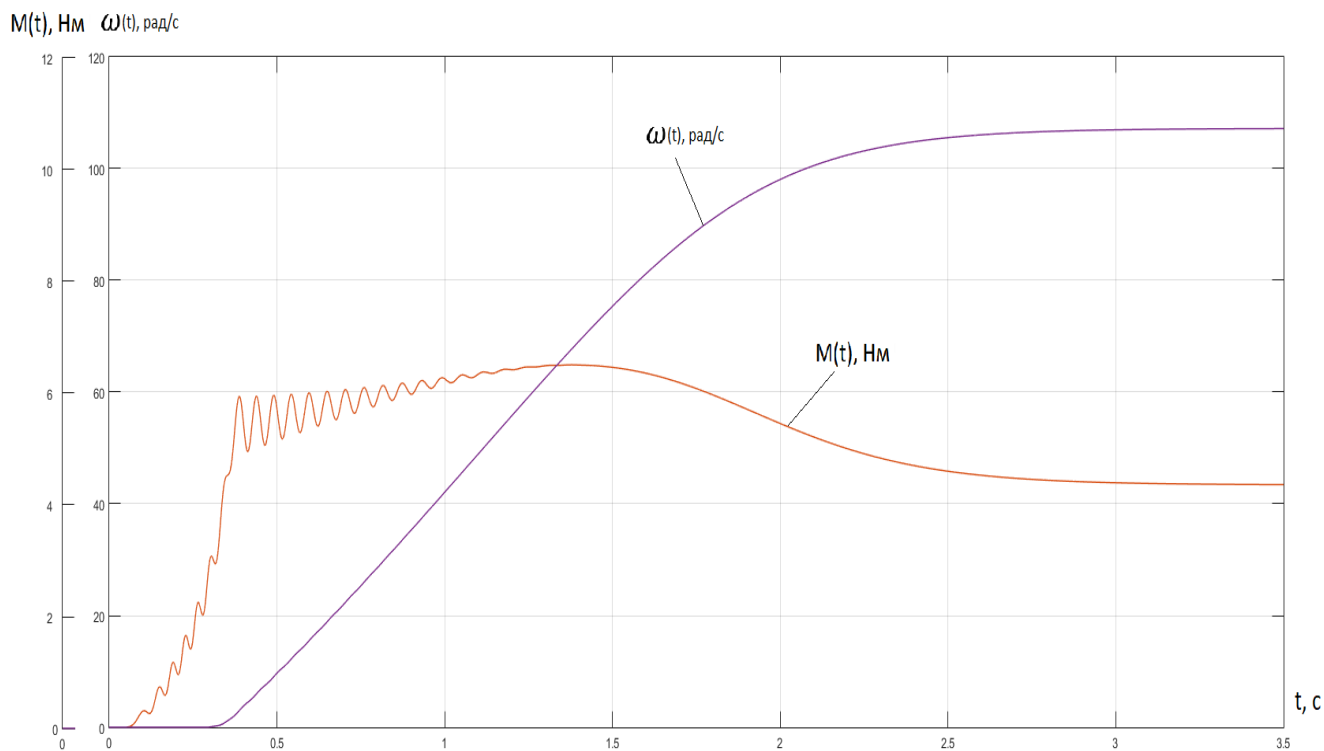


Рисунок 3.22 – Переходные процессы асинхронного электропривода с датчиком интенсивности под насосной нагрузкой при частоте 20 Гц

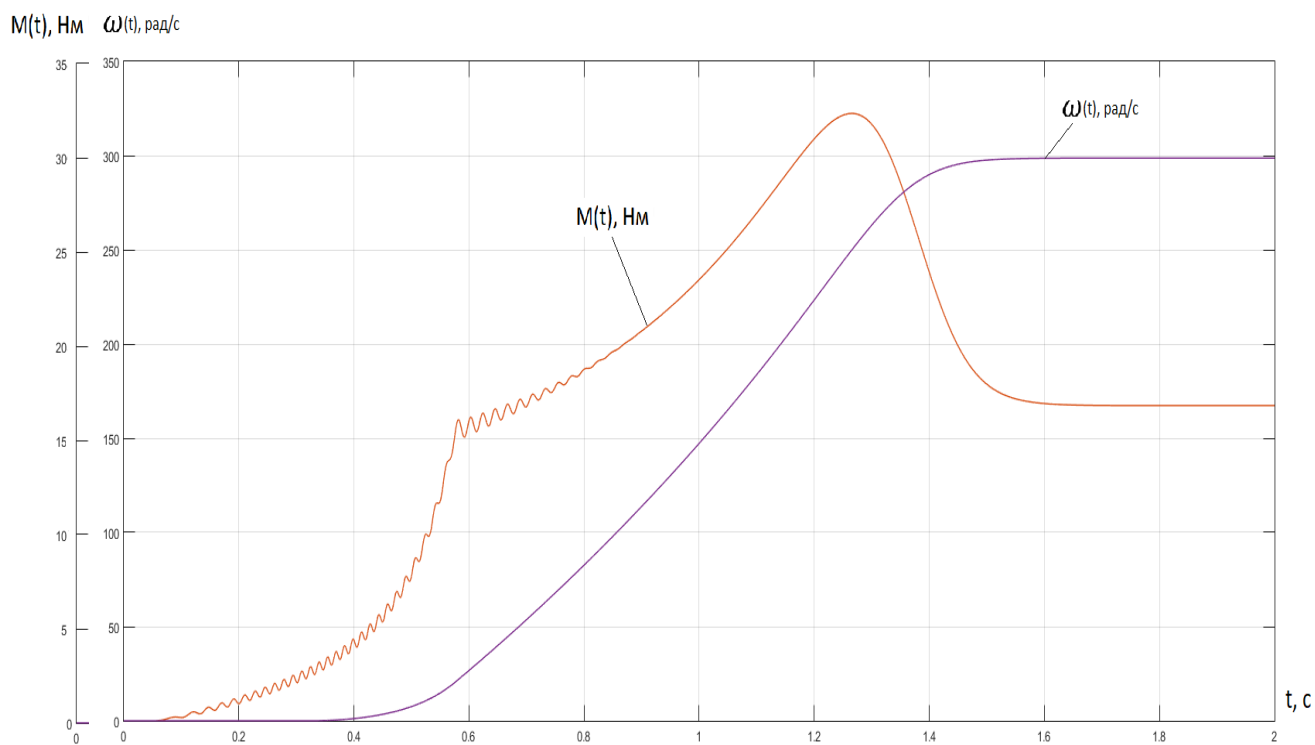


Рисунок 3.23 – Переходные процессы асинхронного электропривода с датчиком интенсивности под насосной нагрузкой при частоте 50 Гц

Вывод:

Имитационное моделирование подтвердило правильность выбора двигателя и преобразователя частоты, расчетов механических и электромеханических характеристик. Просадка скорости под нагрузкой находится в приемлемых пределах. Это доказывает, что асинхронный двигатель с частотным управлением способен обеспечить все требования по диапазону регулирования скорости привода насоса и его перегрузочной способности.

На рисунке 3.24 представлены переходные процессы мягкого пуска асинхронного электропривода под насосной нагрузкой с помощью задатчика интенсивности. После достижения установившегося режима происходит ступенчатое увеличение питающей двигатель частоты с 20 Гц до 50 Гц, с шагом 10 Гц. При этом переходные процессы длятся допустимое время, от одной до двух секунд, а скачки момента не превышают допустимые пределы.

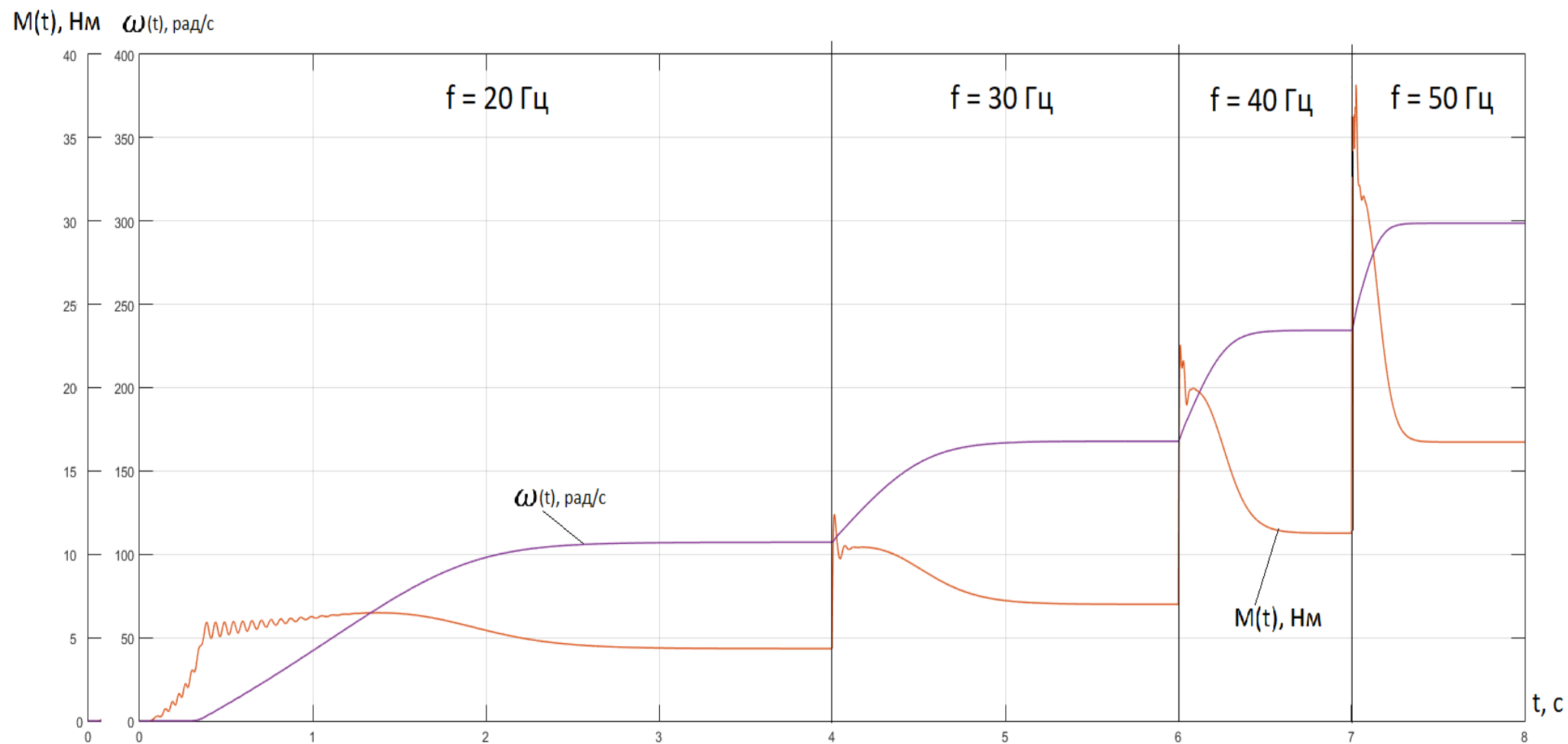


Рисунок 3.24 – Переходные процессы при пуске электропривода с задатчиком интенсивности на частоте 20 Гц и последующем увеличением частоты до 50 Гц

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является обоснование целесообразности проектирования и создания технологического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе производится расчет суммы затрат на проектирование асинхронного электропривода насоса угольной котельной и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка перспективности технологического проекта при помощи SWOT-анализа;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- расчет затрат на проведение проектной работы;
- определение ресурсосберегающей эффективности проекта.

4.1 SWOT-анализ по разработке проекта электропривода угольной котельной

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Он представляет собой комплексное исследование проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.[15]

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

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения: С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта; В – возможности; У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии С2. Экологичность технологии С3. Повышение безопасности производства С4. Большая экономия электрической энергии С5. Снижение затрат на содержание и обслуживание	Слабые стороны проекта: Сл1. Высокая цена на оборудование и комплектующие Сл2. Отсутствие квалифицированного персонала Сл3. Повышенный уровень вибрации Сл4. Большой срок поставки оборудования и комплектующих
Возможности: В1. Автоматизация технологического процесса В2. Энерго и ресурсосбережение В3. Сокращение рабочих площадей В4. Повышение износостойкости элементов и деталей электропривода	В1 С1С2С3С4С5 В2 С1С3С4С5 В3 С2С3С5 В4 С1С2С4С5	В1 Сл1Сл2Сл3Сл4 В2 Сл1Сл4 В3 Сл2Сл3 В4 Сл1Сл3Сл4
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологию производства У2. Развитая конкуренция технологии производства У3. Введение дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Риск несвоевременной поставки оборудования	У1 С5 У2 С5	У1 Сл4 У2 Сл4 У3 Сл2 У4 Сл4

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» - сильное соответствие; «-» - слабое соответствие.

Анализ интерактивных таблиц приведен в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2 - Интерактивная матрица возможностей.

Возможности	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	+	+
B2	+	-	+	+	+
B3	-	+	+	-	+
B4	+	+	-	+	+
Слабые стороны проекта					
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
B1	+	+	+	+	
B2	+	-	-	+	
B3	-	+	+	-	
B4	+	-	+	+	

Таблица 4.3 - Интерактивная матрица угроз.

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
У1	-	-	-	-	+
У2	-	-	-	-	+
У3	-	-	-	-	-
У4	-	-	-	-	-
Слабые стороны проекта					
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
У1	-	-	-	+	
У2	-	-	-	+	
У3	-	+	-	-	
У4	-	-	-	+	

В результате проведения SWOT-анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны технического проекта, оказалось, что самой сильной стороной проекта является большая экономия потребляемой электрической энергии, так как электропривод позволяет двигателю работать при разном питающем напряжении, в зависимости от нагрузки. Кроме того, вследствие автоматизации технологического процесса повышается безопасность

производства. Как слабую сторону проекта, можно отметить рост конкуренции, появление подобных технологий.

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 4.2 и 4.3, показывает соответствие сильных сторон с возможностями, нежели с угрозами. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

4.2 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 частотно-регулируемого электропривода насоса.

4.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Каждый вид запланированных работ закреплен за соответствующим исполнителем.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Перечень этапов работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Исполнитель
Составление технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	3	Выбор оборудования	Дипломник
	4	Расчет элементов электропривода	Дипломник
	5	Построение естественных и искусственных характеристик	Дипломник
	6	Проверка правильности выбора оборудования	Руководитель, Дипломник
	7	Расчет и проверка модели АД	Руководитель, Дипломник
	8	Расчет и проверка модели АД-ПЧ	Руководитель, Дипломник
Оформление отчета по техническому проектированию и защита ВКР	9	Составление пояснительной записки	Дипломник
	10	Проверка и рецензирование квалификационной работы	Руководитель, Дипломник
	11	Защита выпускной квалификационной работы	Дипломник

Содержание этапов:

№1 - составление и утверждение технического задания – выбор направления исследований научным руководителем и составление плана работ;

№2 - Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение первичных источников информации об объекте исследования;

№3 - Выбор оборудования – расчет мощности электропривода и его выбор по номенклатуре, также выбор преобразователя частоты и датчиков давления;

№4 – Расчет элементов электропривода - определение параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя;

№5 – Построение естественных и искусственных характеристик – расчет и построение естественных и искусственных механических и электромеханических характеристик электродвигателя;

№6 - Проверка правильности выбора оборудования – проверка руководителем правильности выбора оборудования, оценка результатов, устранение недочетов;

№7 - Расчет и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при пуске под нагрузкой;

№8 - Расчет и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель, расчет и построение семейства механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты подаваемого напряжения в среде MATLAB.

№9 - Составление пояснительной записки - оформление результатов проектной деятельности;

№10 - Проверка и рецензирование квалификационной работы - окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовка презентации, размещение пояснительной записки в электронно-библиотечной системе ТПУ.

№11 - Защита выпускной квалификационной работы – выступление перед комиссией, ответы на вопросы.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты составляют значительную часть стоимости разработки, поэтому необходимо определить трудоемкость каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения технического проектирования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула [15]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{min\ i} + 2 \cdot t_{max\ i}}{5}, \quad (4.1)$$

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

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

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Расчет продолжительности работ, раб.дн.

№ работы	Содержание работ	Исполнитель	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1	1
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	8	12	10
3	Выбор оборудования	Дипломник	14	16	15
4	Расчет элементов электропривода	Дипломник	8	12	10
5	Построение естественных и искусственных характеристик	Дипломник	8	12	10

Таблица 4.5 - Окончание

6	Проверка правильности выбора оборудования	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	14	16	15
7	Расчет и проверка модели АД	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	14	16	15
8	Расчет и проверка модели АД-ПЧ	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	14	16	15
9	Составление пояснительной записки	Дипломник	8	12	10
10	Проверка и рецензирование квалификационной работы	Руководитель	2	4	3
		Дипломник	2	4	3
11	Защита выпускной квалификационной работы	Дипломник	1	1	1

4.2.3 разработка графика проведения технического проектирования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения технических работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [4].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 4.5 строим план-график проведения работ (таблица 4.6).

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с первой декады февраля, заканчивая второй декадой июня. Учитывая вероятностный характер

оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств). Далее, по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 105 рабочих дней. Из них:

104 дня – продолжительность выполнения работ дипломником;

7 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

4.3 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на материальные расходы;
- полная заработная плата исполнителей ТП;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Материальные затраты на комплектующие, провода, шлейфы и т.д. не рассчитываются, так как они укомплектованы вместе с оборудованием.

4.3.1 Затраты на материалы расходы

Стоимость материальных затрат приведена в таблице 4.7.

Таблица 4.6 - Диаграмма Ганта

№ ра боты	Содержание работ	Исполнители*	Продолжи- тель- ность	Продолжительность выполнения работ по декадам										
				Фер- раль	Март			Апрель			Май			Июнь
					3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Р	1	■										
2	Подбор и изучение материалов по теме	Д	10	■	■									
3	Выбор оборудования	Д	15		■	■								
4	Расчет элементов электропривода	Д	10			■	■							
5	Построение естественных и искусственных характеристик	Д	10				■	■						
6	Проверка правильности выбора оборудования	Р	1						■					
		Д	15					■	■					
7	Расчет и проверка модели АД	Р	1								■			
		Д	15						■	■				
8	Расчет и проверка модели АД-ПЧ	Р	1									■		
		Д	15								■	■		
9	Составление пояснительной записки	Д	10									■	■	
10	Проверка и защита выпускной квалификационной работы	Р	3										■	
		Д	3										■	
11	Защита выпускной квалификационной работы	Д	1											■
* «Д» - дипломник, «Р» - руководитель.														

Таблица 4.7 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Зм), руб.
Бумага	Лист	150	2,5	375
Ручка	Шт.	1	60	60
USB накопитель	Шт.	1	305	305
Линейка	Шт.	1	85	85
Мульти фора	Шт.	10	2	20
Блокнот	Шт.	1	100	100
Корректор	Шт.	1	55	55
Итого:				1000

4.3.2 Полная заработная плата исполнителей

В этом разделе рассчитывается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Полная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп} \quad (4.3)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_p \quad (4.4)$$

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

$Т_p$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{тс}} + З_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}} \quad (4.5)$$

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

$З_{\text{р.к.}}$ – доплата с учетом районного коэффициента (30 %), руб.;

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (принимается равным 26), раб.дн.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Расчет основной заработной платы исполнителей.

Исполнитель	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	33664	10099	43763	1683	7	11781
Дипломник	12300	3690	15990	615	104	63960
Итого						75741

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта учитывают выплаты, связанные с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} \quad (4.6)$$

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

Дополнительная заработная плата составляет 12-15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Расчет дополнительной и полной заработной платы.

Исполнитель	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	11781	13500
Дипломник	0,12	63960	71600
Итого		75741	85100

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (4.7)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные страховые фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 85,1 = 25,7 \text{ тыс. руб.}$$

4.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование

материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от общей суммы затрат.

4.4 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение суммы затрат на технический проект приведено в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты	1,0	0,8
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей	85,1	63,9
3. Отчисления во внебюджетные фонды	25,7	19,3
4. Накладные расходы	21,3	16,0
Итого	133,1	100,0

Исходя из представленной выше сметы, видно, что сумма затрат на выполнение технического проекта составляет 133,1 тыс. руб. Заметим, что большую часть (64 %) всех затрат составляют затраты по полной заработной плате исполнителей.

4.5 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [15]:

$$I_{p\ i} = \sum a_i \cdot b_i \dots\dots\dots (4.8)$$

где $I_{p\ i}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i - весовой коэффициент разработки;

b_i - балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как:

- повышение производительности труда пользователя осуществляется путем автоматизации технологического процесса;
- удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) – возможность диспетчеризации позволяет сократить количество осмотров системы за период эксплуатации;
- энергоэкономичность – применение в насосных установках частотно-регулируемого электропривода дает возможность использовать мощные насосы в режиме малых подач и уменьшить их количество;
- надежность – отсутствие избыточного напора воды: плавное изменение технологических параметров насоса (подачи и давления), позволяет повысить надежность гидравлической системы;
- уровень шума – применение частотно-регулируемого электропривода значительно снижает уровень шума насосной установки в режиме малых подач воды;
- безопасность – нет необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала, так как управление и мониторинг за работой насосного агрегата осуществляется дистанционно.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Повышение производительности труда пользователя	0,20	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5
3. Энергоэкономичность	0,20	5
4. Надежность	0,20	5
5. Уровень шума	0,10	4
6. Безопасность	0,15	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта:

$$I_{p\ i} = 0,20 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 + 0,10 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,7$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности, гибкости и безопасности позволяют судить о надежности системы.

В данном разделе выпускной квалификационной работы были рассмотрены, раскрыты и рассчитаны следующие вопросы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. В таких случаях используют интерактивные матрицы возможностей и угроз. Анализ данных матрицы, установил, что соответствия угроз с сильными и слабыми сторонами имеют низкую вероятность, что нельзя сказать о возможностях. В итоге следует, что данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как высокая безопасность производства и энергоэффективность, которые

обеспечат повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства;

- при планировании технических работ была составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет оптимально спланировать время работы исполнителей проекта (руководителя и дипломника);

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. По этим данным можно определить, стоит ли проводить дополнительные мероприятия по оптимизации затрат на проект или нет;

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала довольно высокий результат (4,7 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В выпускной квалификационной работе разработан регулируемый автоматизированный электропривод угольной котельной.

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

При эксплуатации насосной установки возможно воздействие на человека опасных и вредных производственных факторов.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник угольной котельной имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за

исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место оператора угольной котельной должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место оператора угольной котельной соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

5.2. Производственная безопасность

Разрабатываемая модель электропривода подразумевает использование электрической машины и преобразователя частоты, с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке электрического привода или работе с оборудованием, а также требования по организации рабочего места.

5.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [2]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы:

Таблица 5.1 - Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке автоматического электропривода

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Разработка математической модели электропривода	1. Повышенный уровень электромагнитных полей [2, 17];	1. Электрический ток	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 СанПиН 2.2.2.542-96

2) Работа системой ПЧ-АД	2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; [2,3, 17]; 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; [2, 17]; 4. Неудовлетворительный микроклимат [2, 17]; 5. Повышенный уровень напряженности электростатического поля [2, 17].		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011 СанПиН 2.2.4.548–96 СН 2.2.4/2.1.8.562–96 ГОСТ 30494-2011
--------------------------	--	--	---

5.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

При разработке математической модели электропривода основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов (ОВПФ) является ЭВМ, возможность поражения электрическим током. Использование оборудования может привести к наличию таких вредных факторов, как повышенный уровень статического электричества, повышенный уровень электромагнитных полей, повышенная напряженность электрического поля.

К основной документации, которая регламентирует вышеперечисленные вредные факторы относится СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы":

ЭВМ должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке[4].

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) на рабочем месте оператора электропривода, создаваемых ЭВМ, не должны превышать значений [5], представленных в таблице 5.2:

Таблица 5.2 - Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Уровни ЭМП, ЭСП на рабочем месте оператора электропривода угольной котельной, перечисленные в таблице 5.2. соответствуют нормам.

5.2.3 Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа насосов, вентиляторов и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания,

замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровень звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	84	68	63	60	57	55	54	65

Уровни шума на рабочем месте оператора электропривода угольной котельной соответствуют нормам.

5.2.4 Вибрация

Одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел.

Большое негативное воздействие этот фактор оказывает на отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Длительное воздействие вибрации на

организм приводит к развитию профессиональных заболеваний, основным из которых является – виброболезнь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Технические нормы вибрации представлены в таблице 5.4.

Санитарные нормы вибрации представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.4 - Технические нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Помещение	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

Таблица 5.5 - Технические нормы вибрации

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Помещение	-	91	82	76	75	75	75	-	-	-	-

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации."

Технические требования и методы испытаний".

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упруго-демпфирующий материал (ГОСТ 12.4.024 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

Уровни вибраций на рабочем месте оператора электропривода угольной котельной, перечисленные в таблице 5.2. соответствуют нормам.

5.2.5 Неудовлетворительная освещенность

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов – от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 5.6 приведены нормы освещенности на рабочих местах.

Таблица 5.6 - Нормы освещенности на рабочих местах

Характеристика выполняемой работы	Минимальный размер объекта, мм	Разряд зрительной зоны работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение, лк	Естественное освещение с КЕО, %	Совместное освещение КЕО, %
Средней точности	0,5÷1,0	IV _B	Средний	средний	400	4	2,4
Малой точности	1,0÷5,0	V _B	Средний	средний	150	3	1,8

5.2.6 Микроклимат

Помещение рабочего место оператора характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005-88	По ГОСТ 12.1.005-88.	По ГОСТ 12.1.005-88
Холодный	Средней тяжести	17-19	40-60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20-22	40-60	0,2-0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 1.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла выделяемого помещением и периода года.

5.2.7 Анализ опасных факторов

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки электропривода переменного тока. Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [25-28].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

5.2.8 Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно

правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током.

Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

5.2.9 Загорание (пожар)

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов): электроизоляция, бумага, мебель. Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Помещение оснащено такой системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [27] на 800 м² защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

5.3. Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

5.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Математическая электропривода – является программным алгоритмом и не наносит вреда окружающей среде. С точки зрения влияния на окружающую среду можно рассмотреть влияние оборудования при его утилизации.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы [40]. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

1. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.
2. Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация.
3. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.
4. Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии.

5. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма.

6. Получается специальная официальной формы, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.

После оформления всех необходимых документов, компьютерная техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах. [19]

5.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также разработка математической модели с помощью различных программных комплексов. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных

средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Так как объект исследований представляет из себя математическую модель, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в помещении с оборудованием. Таким образом возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. К примеру, замыкание электропроводки - в большинстве случаев тоже человеческий фактор. Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара.

- Согласно СП 5.13130.2009 предел огнестойкости серверной должен быть следующим: перегородки - не менее EI 45, стены и перекрытия - не менее REI 45. Т.е. в условиях пожара помещение должно оставаться герметичным в течение 45 минут, препятствуя дальнейшему распространению огня.

- Помещение должно быть отдельным помещением, функционально не совмещенным с другими помещениями. К примеру, не допускается в помещении организовывать мини-склад оборудования или канцелярских товаров.

- При разработке проекта необходимо учесть, что автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) должна быть обеспечена электропитанием по первой категории (п. 15.1 СП 5.13130.2009).

- Согласно СП 5.13130.2009 в системах воздуховодов общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха защищаемых помещений следует предусматривать

автоматически закрывающиеся при обнаружении пожара воздушные затворы (заслонки или противопожарные клапаны).

5.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- 1) Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.
- 2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.
- 3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;

- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Рабочее место оператора угольной котельной оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 5.8 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение относится к типу П-2а.

Таблица 5.9. Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной выпускной квалификационной работе был рассчитан и спроектирован автоматизированный электропривод насосного оборудования угольной котельной системы ПЧ-АД.

Применение регулируемого привода увеличивает срок службы двигателя привода насоса и обеспечивает требуемую подачу воды и соответствующий ей расход энергии.

В ходе работы был произведен расчет параметров и выбор основных силовых элементов, расчет и проверка области существования электромеханических характеристик электропривода, построение характеристик таких как: электромеханические характеристики, искусственные характеристики при пониженных напряжениях.

Было произведено имитационное моделирование асинхронного электропривода с преобразователем частоты и задатчиком интенсивности в компьютерной среде MATLAB Simulink.

В результате исследований было установлено, что при прямой пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором происходят переходные процессы, результатом которых являются скачки напряжений и момента двигателя. Для изменения частоты вращения вала двигателя было решено применить преобразователь частоты, который позволяет осуществить скалярное управление двигателем по закону $U_1 / f_1^2 = const$. Также для уменьшения скачков напряжения и момента двигателя при пуске, было решено использовать задатчик интенсивности, который позволяет реализовать плавный пуск двигателя на нужной частоте.

Результаты работы удовлетворяют заданию проекта. Таким образом, основная цель дипломной работы была выполнена.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1.Эпштейн И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока. – М.: Энергоиздат, 1982
2. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчёт характеристик электроприводов переменного тока. Ч.1. Асинхронный двигатель: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 136 с.
3. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о датчике давления воды URL: <http://www.intechnics.ru>
4. Мощинский Ю. А., Беспалов В. Я., Кирякин А. А. Определение параметров схемы замещения машины по каталожным данным. // Электричество. – 1998. – №4. – С. 38 – 42
- 5.Насосы. Вентиляторы. Кондиционеры: Справочник/Е.М. Росляков, Н.В. Коченков, И.В. Золотухин др., Под редакцией Е.М. Росляков – СПб.: Политехника, 2006. – 822с.
6. Семидуберский М.С насосы, компрессоры, вентиляторы. Учебник для техникумов. Изд. 4-е перераб. и доп. М., «Высшая школа»,1974 – 232с
- 7.Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением / Шубенко В.А., Браславский И.Я. – М., "Энергия", 1972
8. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
9. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.
10. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электродвигателях URL:

http://ekb.pulscen.ru/products/elektrodivigatel_air_5am_ad_4am_aim_160_s4_15_kv_t_1500_ob_17310390

11. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о насосе URL: <http://nasos.info/catalog.php?mode=view&id=6914>

12. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о контакторах URL: <http://realenergo.net/product/kontakторы-serii-ci-6-50-prednaznacheny-dlja-raboty-v-diapazone-moshnostej-22-25-kvt/>

13. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об автоматических выключателях URL: <http://www.elektroportal.com/series/show/va-5735>», 2010.

14. А.И. Ильин «Экономика предприятия» 2 издание. Новое издание, 2008г.

15. Криницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

16. Каталог продукции ОАО «Сибэлектромотор

17. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

18. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»

19. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»

20. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.

21. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования»

22. СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»

23. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.

24. СНиП П-12-77. «Защита от шума»

25. СНиП 2.04. 05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование»

26. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

27. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда»

28. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»

29. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»

30. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»

31. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных»

32. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств»

33. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».