

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод переменного тока вытяжного вентилятора теплового котла

УДК 62-83:621.63:697.32

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Б	Примак Дарья Константиновна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	К.Т.Н.		

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	Фех Алина Ильдаровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютеева Полина Васильевна	К.Т.Н.		

Результаты обучения по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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> .

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП 13.03.02

_____ Тютева П.В.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Б	Примаков Дарья Константиновна

Тема работы:

Электропривод переменного тока вытяжного вентилятора теплового котла	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1161/с 14.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i>	Объектом исследования является вытяжной дымосос котлоагрегата КВ-1.86Г - Производительность дымососа 5,102 м³/час , Давление 880Па; - Тип электродвигателя – асинхронный. - Диапазон регулирования D =1:10 - Способ управления приводным двигателем – частотный с законом изменения амплитуды и частоты питающего напряжения $U/f=const$
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- Функциональная схема котлоагрегата. - Выбор приводного электродвигателя и преобразователя частоты. - Расчет параметров схемы замещения и естественных механических и электромеханических характеристик двигателя.

	4. Расчет искусственных механических и электромеханических характеристик системы преобразователь-двигатель при скалярном управлении. 5. Имитационное моделирование переходных процессов в скалярной системе управления
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Схема замещения АД. 2. Имитационные модели «АД», «ПЧ-АД». 3. Результаты исследований.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян М.В.
Социальная ответственность	Фех А.И.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.02.19
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев И.А	к.т.н., доцент		14.02.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Б	Примаков Д.К		14.02.2019

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.02.2019	Составление и утверждение задания ВКР	2
21.02.2019	Составление плана работ	3
01.03.2019	Изучение литературы	2
16.03.2019	Выбор асинхронного двигателя, ПЧ и другого электрооборудования	3
30.03.2019	Расчет параметров схемы замещения АД и статических характеристик	3
10.04.2019	Моделирование прямого пуска АД	4
13.04.2019	Выбор и расчет параметров системы ПЧ-АД	3
17.05.2019	Проектирование схемы частотно-регулируемого асинхронного электропривода дымососа	4
19.05.2019	Моделирование системы ПЧ-АД	6
21.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	5
23.05.2019	Социальная ответственность	5
	ВСЕГО	40

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев И.А.	к.т.н., доцент		14.02.2019

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютеева П.В.	к.т.н., доцент		14.02.2019

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Б	Примак Дарья Константиновна

Школа	Инженерная школа энергетики	Направление	ОЭЭ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат технического проекта(ТП):финансовых,информационных и трудовых	Положение об оплате труда работников ТПУ Прайс-листы канцелярских товаров и услуг
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Социальные отчисления: 30%

речень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений	Составление матрицы SWOT и оценка коммерческого потенциала ресурсной и экономической эффективности проекта.
2. Планирование процесса управления: Структура и графики проведения, смета и организация закупок	Смета затрат на проект Определение занятости научного руководителя

речень графического материала

1. Матрица SWOT
2. График проведения технического проекта

та выдачи задания для раздела по линейному графику	14.02.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		14.02.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Б	Примак Д.К		14.02.2019

РЕФЕРАТ	8
ВВЕДЕНИЕ	11
ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ	13
1. Технологический процесс котельной	14
1.1 Описание котлоагрегата	15
1.2 Описание дымососа ДН-6,3-1500 в составе котлоагрегата	18
1.2.1 Назначение и область применения	18
1.2.2 Краткое описание конструкции	18
1.3 Процесс водоподготовки	20
1.4 Дымовая труба	21
1.5 Электроснабжение	22
1.6 Функциональная схема котлоагрегата	24
2. Расчет параметров схемы замещения и статических характеристик	26
асинхронного электродвигателя	26
2.1.1 Паспортные данные электродвигателя	26
2.1.2 Расчет и построение электромеханической характеристики	26
2.1.3 Расчет и построение механической характеристики	30
2.1.4 Расчет момента инерции дымососа	32
3.1 Выбор преобразователя частоты	36
3.2 Выбор автоматического выключателя	38
3.3 Выбор предохранителей	40
3.4 Выбор дросселей и фильтров	42
3.4.1 Входные фильтры высококачественных помех	43
3.4.2 Выходные(моторные)дроссели цепи переменного тока	44
3.4.3 Выходные фильтры высококачественных помех	45
3.5 Выбор питающих кабелей	46
3.6 Выбор измерительного преобразователя давления	48
3.7 Выбор преобразователя интерфейса	50
3.8 Расчет механических и электромеханических	52
характеристик электропривода	52
4 ОПТИМИЗАЦИЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЫМОСОСА	56
4.1 Структурная схема асинхронного двигателя	56
4.2 Имитационная модель асинхронного двигателя	57
4.2.1 Проверка системы трехфазных и двухфазных напряжений	59
4.2.2 Проверка адекватности имитационной модели АД	60
4.3 САУ электропривода при скалярном управлении	62
4.3.1.Выбор способа регулирования скорости двигателя	62
4.3.2 Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении	63
4.3.3 Имитационная модель САУ ЭП при скалярном управлении	63
4.3.4 Имитационное моделирование САУ ЭП при скалярном управлении	65
4.4 САУ электропривода при скалярном управлении с компенсацией	68
момента и скольжения	68
4.4.1 Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении	68
с компенсацией момента и скольжения	68
4.4.2Имитационная модель САУ ЭП при скалярном управлении с	69
компенсацией момента и скольжения	69

4.4.3 Имитационная моделирование САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения.....	72
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	76
5.1. SWOT-анализ работы для частотно-регулируемого асинхронного электропривода дымососа для котлоагрегата КВ-1,86Г, производства Бийского котельного завода.....	76
5.1.1. Организация работ технического проекта.....	79
5.1.2. Структура работ в рамках технического проектирования.....	79
5.1.3. Определение трудоемкости выполнения ТП.....	81
5.1.4. Разработка графика проведения технического проекта.....	82
5.2. Составление сметы затрат на разработку ТП.....	85
5.2.1. Расчет полной заработной платы исполнителей темы.....	85
5.2.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	87
5.3 Формирование сметы затрат технического проекта.....	87
5.4 Определение ресурсоэффективности проекта.....	88
6. Социальная ответственность.....	91
6.1. Правовые и организационные вопросы безопасности.....	91
6.2 Производственная безопасность.....	92
6.2.1. Анализ опасных и вредных факторов.....	94
7. Экологическая безопасность.....	97
7.1. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	104
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	106

РЕФЕРАТ

Выпускная квалифицированная работа состоит из 107 страниц, содержит 40 рисунков 23 таблицы и 21 источников.

Ключевые слова: Котлоагрегат, дымосос, фильтры, дроссель, управление, переходные процессы, преобразователь частоты, математическая модель, имитационная модель, естественные и искусственные характеристики

Объектом исследования является регулируемый асинхронный электропривод вытяжного дымососа котлоагрегата КВ-1,86.

Цель работы – исследовать основные характеристики асинхронного электропривода со скалярным управлением с законом управления $U_1/f_1 = \text{const}$

В процессе исследования проводились выбор асинхронного электродвигателя по параметрам дымососа, расчет параметров двигателя, естественных характеристик, выбор преобразователя частоты, расчет искусственных характеристик электропривода со скалярным управлением при различных частотах питающего напряжения, исследование и анализ переходных характеристик электропривода при пуске под нагрузкой на разные скорости вращения.

В разделе экономики были выявлены сильные и слабые стороны технического проекта, произведена оценка ресурс эффективности проекта, разработан график занятости для исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вопросы техники безопасности и охраны труда. Были определены опасные и вредные факторы производства, а также был проведен анализ этих факторов.

Данная выпускная квалификационная работа выполнялась с помощью компьютерных программ как Microsoft Office, Mathcad, MathType, MatLab.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день РФ находится в ситуации, когда теплостанции нуждаются в модернизации технологического оборудования и средств контроля и управления технологическими процессами. Оборудование множества станций находится в эксплуатации уже более 15-и лет, ресурс этого оборудования практически исчерпан, оно устарело морально и физически.

Наилучшим выходом из этой ситуации будет внедрение и использование современного технологического оборудования, которое позволит максимально использовать возможности систем управления, чем и сможет добиться нового уровня качества технологии.

Сразу после изобретения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором была аргументирована возможность управления частотой вращения. Реализовать данную возможность удалось лишь с появлением и развитием силовых полупроводниковых приборов – тиристоров, а чуть позже и транзисторов IGBT, MOSFET. На данный момент во всем мире широко распространен и используется способ управления асинхронной машиной с помощью преобразователей частоты, который рассматривается сегодня не только с точки зрения экономии используемой электрической энергии, но и с точки зрения развития способов управления технологическим процессом.

В технически развитых странах частотно-регулируемые электроприводы используются уже более 30-и лет. В течение данного времени заложились множество методических и научных основ, усовершенствовались технические средства управления электроприводом, технологические процессы и оборудование вышли на новый качественный уровень, сформированы учебные курсы для подготовки высококвалифицированных специалистов. Накопился довольно большой опыт в принятии технических решений при создании систем, которые используют данный тип приводов, стандартизирован ряд решений.

В России получилось сложилась иная ситуация. Исследование полномасштабных интегрированных АСУ ТП на замену устаревшим системам еще весьма малозначительно. Не смотря на это, все же имеется некоторый опыт применения частотно-регулируемых приводов для модернизации тягодутьевых агрегатов. Примерами подобного применения являются ряд объектов г. Санкт-Петербурга: 1-я, 2-я, 3-я и 4-я Красногвардейские котельные, в которых применено частотное регулирование приводами сетевых и подпиточных насосов; Центральные тепловые пункты 2-го, 5-го, 6-го и 7-го кварталов – модернизация насосов горячего водоснабжения (ГВС); применение АСУ ТП на Краснокамском целлюлозно-бумажном комбинате; на двух водогрейных котлоагрегатах КВГМ-100 тепловой станции № 2 г. Череповца и ряд других примеров.[2].

Усовершенствование вентиляторов и дымососов с помощью применения частотного регулирования является задачей, принадлежащей нижнему уровню АСУ ТП. При этом решаются вопросы энергосбережения в плане эффективности, качественного улучшения технологического процесса, увеличения срока службы агрегатов системы, а также ряд других вопросов, способных повысить общий уровень системы.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка частотно-регулируемого асинхронного электропривода дымососа для котлоагрегата КВ-1,86Г, производства Бийского котельного завода.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать регулируемый электропривод вытяжного дымососа котлоагрегата КВ-1,86Г, соответствующий техническим требованиям и характеристикам, указанным в таблице 1:

Таблица 1 – Технические требования и характеристики электропривода

Элементы	Технические требования и характеристики
Сеть	Трёхфазная, $380 \pm 10\%$ В, 50 ± 1 Гц
Электропривод	Режим работы – продолжительный (S_1), нагрузка реактивная
	Нереверсивный, диапазон регулирования $D = 1:10$
	Погрешность поддержания заданной частоты на нижней рабочей скорости – не более 10%
Система управления электроприводом	Управление электроприводом – ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с перспективой интеграции в систему управления более высокого уровня
	Система управления должна обеспечивать надёжную защиту от перегрузок и аварий, простое управление и обслуживание
Электродвигатель	Электродвигатель предназначен для работы в условиях повышенного уровня температуры и запыленности, имеет закрытое исполнение, степень защиты IP44 и выше
Преобразователь частоты	Преобразователь частоты предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях, с уровнем температуры окружающего воздуха от 5° до 45°C и уровнем относительной влажности менее 80%

1.Технологический процесс котельной

В проекте котельной принята одноконтурная схема. Сетевыми насосами ЦН80/60 из обратного трубопровода вода подается в котлы и поступает в сеть.

При работе 3-х котлов КВ-1,86 Гс температурный график 80-95⁰ С.

Подпитка сетей осуществляется 2-мя насосами К818. Исходная вода для подпитки проходит обработку Na – катионирования и поступает в бак смягченной воды. При падении уровня давления в сети вода из бака подается в сеть автоматически подпиточным насосом.

В схеме принято качественное регулирование нагрузки. Регулирование тепловой нагрузки в котельной осуществляется при помощи изменения числа работающих котлов и изменения нагрузки на котлах, при этом расход воды через сеть осуществляется регулирующим клапаном с помощью исполнительного механизма и при изменении нагрузки остается неизменным.

Обратка из сети попадая в котельную, проходит грязевик, антинакипную установку АНУ 70, сетевые насосы ЦН80/60, котлы и обратно в сеть.

В котельной спроектирован поагрегатный учет тепловой энергии и общий учет, информация заносится на жесткий диск компьютера, из которого может быть извлечена в любой момент.

Система горячего водоснабжения спроектирована с аккумулирующей ёмкостью. Температурный режим в сети ГВС поддерживается при помощи 2-х регулирующих клапанов. Температура горячей воды, подаваемой потребителю, 55⁰ С.

На обратной линии ГВС установлен грязевик. Количество одновременно работающих котлов в котельной задается персоналом.

При запуске в работу котлоагрегата КВ 4,63 ГМ, дополнительно включаются насосы ЦН80/60. Температурный график работы сети 95-70⁰ С.

1.1 Описание котлоагрегата

Водогрейные котлы КВ–1,86 Г (КВ–1,6-95 Г) и КВ–1,86 ГМ (КВ–1,6-95 ГМ) используются для получения горячей воды номинальной температуры (95°С), используемой в отопительных системах, системах вентиляции, системах горячего водоснабжения зданий, сооружений промышленного и бытового назначения, а также в технологических целях. Данные котлы устанавливают, как правило, в котельных, которые оборудованы водоподготовительной системы.

Котлы работают при принудительной циркуляции воды и при рабочем выходном давлении до 0,6 МПа.

Вид расчетного топлива: КВ–1,86 Г (КВ–1,6-95 Г) – природный газ, КВ–1,86 ГМ (КВ–1,6-95 ГМ) – мазут, природный газ.

Устройство и принцип работы котла

Котел состоит из следующих основных элементов: 2-ух боковых панелей; фронтального и заднего экранов и конвективного блока. Описание данных элементов представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Устройство котла

Элементы котла	Описание элементов
1. Боковые панели	Представляют собой конструкцию из листа и приваренных к нему коробов, расположенных горизонтально (в поперечном сечении имеющих вид швеллера). Короба между собой соединены переходами (подобного типа) для обеспечения возможности перетока воды из одного короба в другой. Боковые панели устанавливаются на опорную раму котла.
2. Фронтальной и задней экраны	Фронтальной экран, одновременно являющийся и потолочным, и задний экран выполнены из труб типоразмером Ø51×4 мм с шагом 78 мм. Фронтальной и задний экраны включены в циркуляцию котла с помощью двух коллекторов, внутри разделенных перегородками.
3. Конвективный блок	Конвективный блок состоит из труб типоразмером Ø51×2,5 мм и разделен вертикальной перегородкой по ходу газов, в местах, где установлены перегородки, применяются трубы типоразмером Ø51×4 мм.

Для осмотра и обслуживания коллекторы снабжены специальными лючками. Под коллектором фронтального экрана установлена фронтальная стенка, на которую навешивается газовая горелка ГГВ-200 или газомазутная РГМГ-2. Фронтальная стенка выполнена из шамотобетона с амбразурой под горелку.

Процесс горения происходит в топочном объеме, ограниченном боковыми панелями, фронтальным, потолочным и задним экранами. Образовавшиеся продукты сгорания поднимаются вверх и, благодаря наличию разрежения за котлом, движутся через фестонированную часть заднего экрана в конвективный блок. В конвективном блоке осуществлен вертикальный поворот газов на 180°C.

Процесс водоснабжения котла поэтапно отображен в таблице 3

Таблица 3 – Этапы водоснабжения котла

№ Этапа	Описание этапа
1	Через правый нижний боковой коллектор производится питание котла водой
2	Из бокового коллектора вода проходит в нижнюю часть боковых панелей
3	Из боковых панелей вода поступает в верхний коллектор потолочного экрана
4	По крайним опускным трубам вода поступает в нижний коллектор фронтального экрана
5	Из нижнего коллектора фронтального экрана вода снова поднимается в среднюю часть потолочного коллектора
6	Вода поступает в верхний коллектор заднего экрана в правую его часть
7	По опускным трубам опускается в нижний коллектор заднего экрана
8	Из нижнего коллектора заднего экрана вода вновь поднимается в левую часть верхнего коллектора и в конвективный блок
9	Из левой части верхнего коллектора и конвективного блока вода поступает в нижний коллектор левой боковой панели
10	Из нижнего коллектора левой боковой панели вода выходит через выходной отсек

Внешний вид котлоагрегата КВ–1,86 Г представлен на рисунке 1.

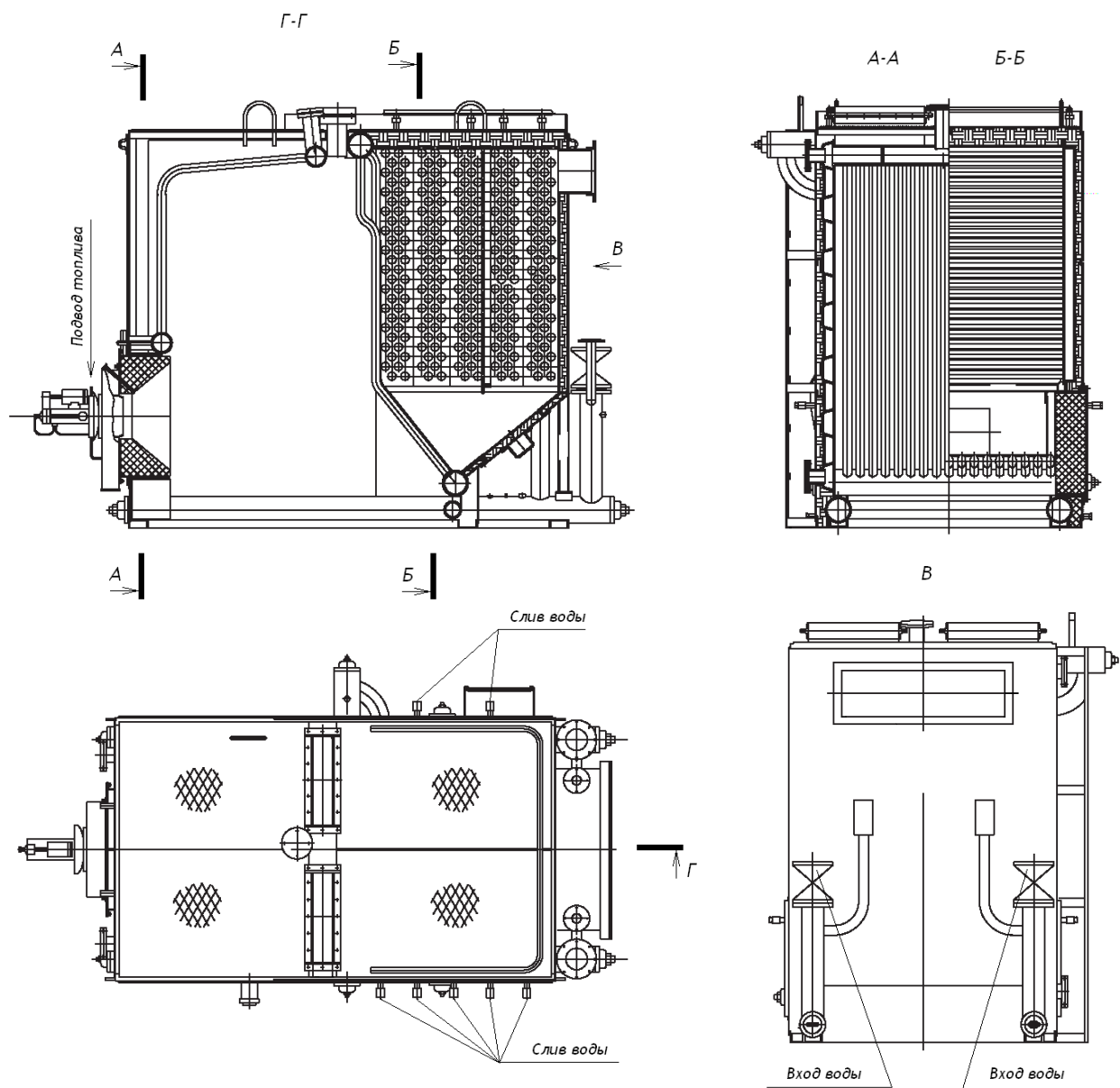


Рисунок 1 - Котлоагрегат KB-1,86 Г. Внешний вид

1.2 Описание дымососа ДН-6,3-1500 в составе котлоагрегата

1.2.1 Назначение дымососов и их область применения

Дымососы центробежные одностороннего всасывания по типу ДН ОАО “БКЗ” предназначены, главным образом, для отведения дымовых газов. Дымососами комплектуются котлы с уравновешенной тягой на твердом топливе, имеющим паропроизводительность от 2,6 до 26 т/ч, газомазутные котлы с такой же паропроизводительностью, а также газомазутные водогрейные котлы теплопроизводительностью от 3 до 12 Гкал/ч. Допустимо применение дымососов в технологических установках.

Исполнение: уровень температуры окружающей среды должен быть от -30°C и до +40°C; максимально допустимая температура поступающих дымовых газов на вход в дымосос не более +200°C.

1.2.2 Краткое описание конструкции

Центробежные дымососы выполняются двух исполнений: левого и правого вращения. За левое вращение принимают вращение рабочих колес направленное против направления движения часовой стрелки, если смотреть на дымосос со стороны двигателя; а правым за правое вращение принимают вращение, направленное по направлению движения часовой стрелки.

Основные узлы дымососа: рабочее колесо, улитка, всасывающая воронка, осевой направляющий аппарат и постамент.

Описание основных узлов дымососа представлено в таблице 3.

Дымососы выполняются без автономной ходовой части с непосредственной посадкой на вал приводного электродвигателя.

Регулирование производительности и полного давления, которое развивается дымососами, осуществляется за счет осевых направляющих аппаратов или всасывающего кармана с шиберным устройством.

Таблица 3 – Описание основных узлов дымососа

Узлы дымососа	Описание узлов
1. Рабочее колесо	Рабочие колеса дымососов составляют крыльчатки и ступицы. Крыльчатка представлена сварной конструкцией, состоящей из 16 загнутых назад листовых лопаток, расположенных между основными и коническими покрывающими дисками. Лопатки и покрывающий диск выполнены в виде штампов. Посадочная поверхность ступиц рабочих колес выполняется в виде шлицевых пазов для предотвращения перегрева подшипников электродвигателей, расположенных со стороны рабочих колес (передних подшипников),
2. Улитки	Улитки дымососов – сварные, изготовлены из листовой стали. Для обеспечения требуемой жесткости торцевые стенки улиток усилены оребрением из полос. Выем ротора дымососов (приводной электродвигатель с насаженным рабочим колесом) осуществляется через отверстие в торцевой стенке улиток, которая расположена между электродвигателем и рабочим колесом. Дымососы поставляются заказчику с углом поворота улиток $\varphi = 180^\circ$; на экспорт – $\varphi = 0^\circ; 90^\circ; 180^\circ$ и 270°. В случае необходимости допустима установка улиток с различными углами разворота от 0° до 270° через каждые 15°.
3. Всасывающая воронка	Представлены сварной конструкцией, состоящей из цилиндрического корпуса, конфузора, выполненного в виде усеченного конуса, и уплотнительного кольца.
4. Осевые направляющие аппараты	Состоят из сварного корпуса с 4-мя опорными роликами, по ним перемещается поворотное кольцо; 8-ми листовых лопаток, соединенных с поворотным кольцом рычажной системой, и обтекателя, укрепленного по оси корпуса 4-мя спицами. Лопатки осевых направляющих аппаратов способны синхронно поворачиваться в направлении вращения рабочих колес от 0° до -90°. Привод лопаток осевых направляющих аппаратов осуществляется как вручную, так и от электроисполнительного механизма.
5. Постаменты	Отлиты из чугуна и служат общим несущим элементом. На постаментах монтируются улитка в сборе с осевым направляющим аппаратом и электродвигатель с насаженным на его вал рабочим колесом с помощью болтовых соединений в единый поставленный блок. Постаменты стягиваются с общим фундаментом фундаментными болтами.

Схема управления дымососом показана на рисунке 2.

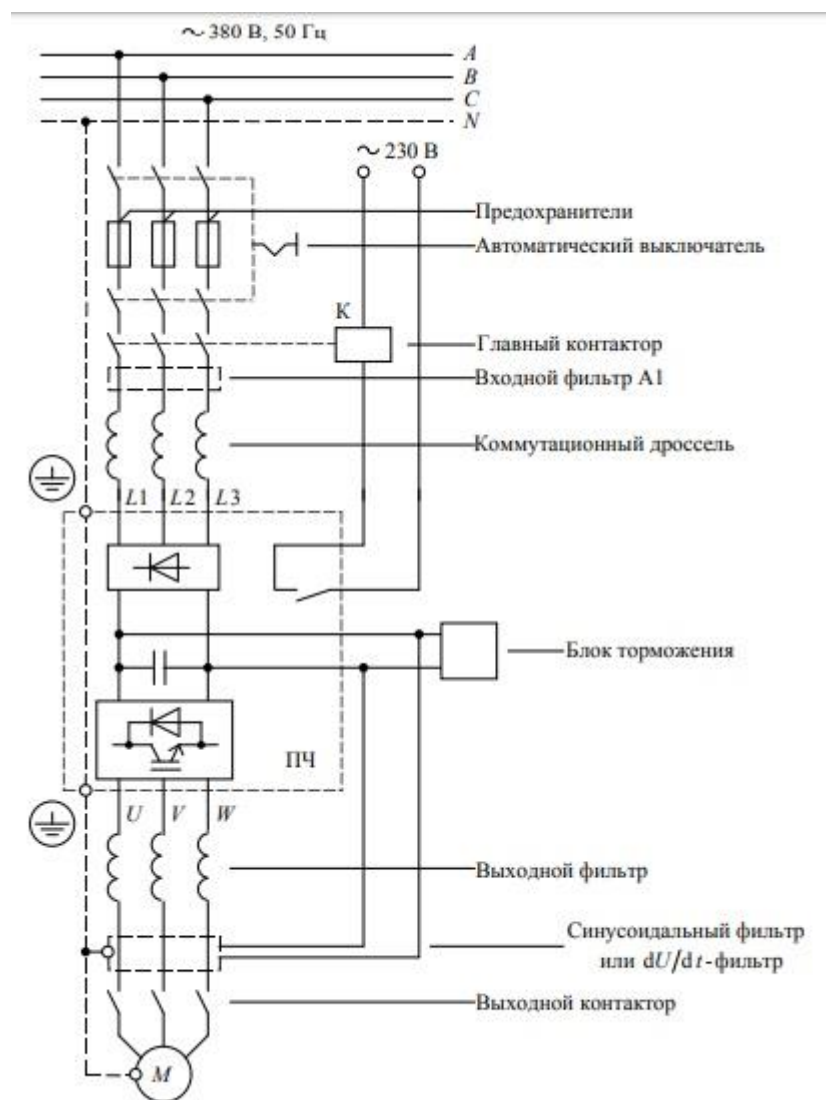


Рисунок 2 – Электрическая схема управления дымососом

Технические параметры дымососа:

- давление – 880 Па;
- производительность – 5102 м³/час;
- двигатель приводной 5A112M4Y3 ($P_{2H} = 5,5$ кВт);
- масса – 370 кг;
- габариты (Д×Ш×В) – 1150×1240×1175 мм.

1.3 Процесс водоподготовки

Для обработки подпиточной воды по желанию заказчика применяется блочная установка водоподготовки посредством двухступенчатого На-катионирования типа ВПУ-6 с производительностью 6 т/ч.

Регенерация производится поваренной солью, которая хранится в сухом виде в помещении котельной, т.к. расход соли незначителен.

Для того чтобы на поверхностях нагрева котлов не образовывалось твердых отложений, в проекте применена антинакипная установка АНУ-70. Принцип действия антинакипной установки основан на том, что под действием магнитного поля ферромагнитные примеси воды укрупняются и адсорбируют поверхностный слой – кристаллизующейся накипеобразователь. В результате этого происходит образование твердой фазы CaCO_3 в толще воды, а не на поверхности нагрева.

Образующийся шлак мелкодисперсен (основная масса его частиц имеет диаметр не более 0,3 мкм) и быстро укрупняется, при периодической продувке все отложения легко выносятся с водой.

Для подогрева исходной воды ВПУ-6 в комплекте входит водяной теплообменник, для регулирования температуры исходной воды установлен регулирующий клапан КРЛ-50.

1.4 Дымовая труба

При работе котлов на природном газе в дымовых газах содержатся следующие вредные вещества: NO_2 , CO . Мероприятиями по охране атмосферы являются: снижение концентрации вредных веществ в приземном слое способом рассеивания дымовых газов на высоте 40 м с помощью дымовой трубы.

Величины выбросов были определены по методике, указанной в «Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 т/ч», Гидрометиздат –1985 г.

Величины выбросов составляют:

NO_x	г/с	0,3948;
	т/год	3,4482;
CO	г/с	4,3656;
	т/год	9,5311.

1.5 Электроснабжение

Согласно ПУЭ в отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники относятся ко II-й категории и запитываются от двух источников питания.

Питание электроприемников котельной на напряжение 220/220В предусматривается от существующих силовых распределительных шкафов ШР2-ШР7, укомплектованных предохранителями типа ПН2-250 ($P_p = 117,13$ кВт; $Q_p = 30,94$ кВАр; $S_p = 142$ кВА).

Характеристика топлива

Котельная работает на природном газе – ГОСТ 5542-87; $Q_H = 8010$ ккал/м³.

Состав газа: метан CH_4 – 96,09%; этан C_2H_6 – 0,89%; пропан C_3H_8 – 0,22%; углекислый газ CO_2 – 0,01%; азот N_2 – 0,77%; бутан C_4H_{10} – 0,01%.
Плотность – 0,68 г/м³.

На котлах 1,86 Г установлены горелки ГГВ-МГП-200.

Технические параметры горелки приведены в таблице 4, котлов – в таблице 5.

Таблица 4 – Технические параметры горелки

Наименование показателя	ГГВ-200	ГМ-4,5
Тепловая мощность горелки при давлении газа 29,4кПа ($Q_H = 33,5$ МДж/м ³), МВт	2,309	5,2
Количество газовыпускных отверстий при среднем давлении газа	36	-
Диаметр газовыпускных отверстий при среднем давлении газа	3,3	-

Таблица 5 – Технические параметры котлов

Наименование показателя	КВ-1,86 Гс (КВ-1,6-95 Гс)	КВ-4,63 ГМ (КВ-4,0-115)
Теплопроизводительность, МВт (Гкал/ч)	1,86 (1,6)	4,63 (4,0)
Вид расчетного топлива основное	Газ	Газ
Расход газа , м ³ /ч	211	530
Расход жидкого топлива, кг/ч	-	460
КПД, % не менее	92	92
Рабочее давление теплоносителя, МПа (кгс/см ²), не более	0,6 (6)	0,9 (9)
Температура теплоносителя, °С не более (t = 25 °С)	95	115
Аэродинамическое сопротивление котлоагрегата, Па (кгс/м ²) не более	500 (50)	500 (50)
Гидравлическое сопротивление, МПа (кгс/см ²) не более	0,1 (1)	0,1 (1)
Расход воды через котел, т/ч	64	90

1.6 Функциональная схема котлоагрегата

На рисунке 3 представлена функциональная схема котлоагрегата КВ-1,86Г.

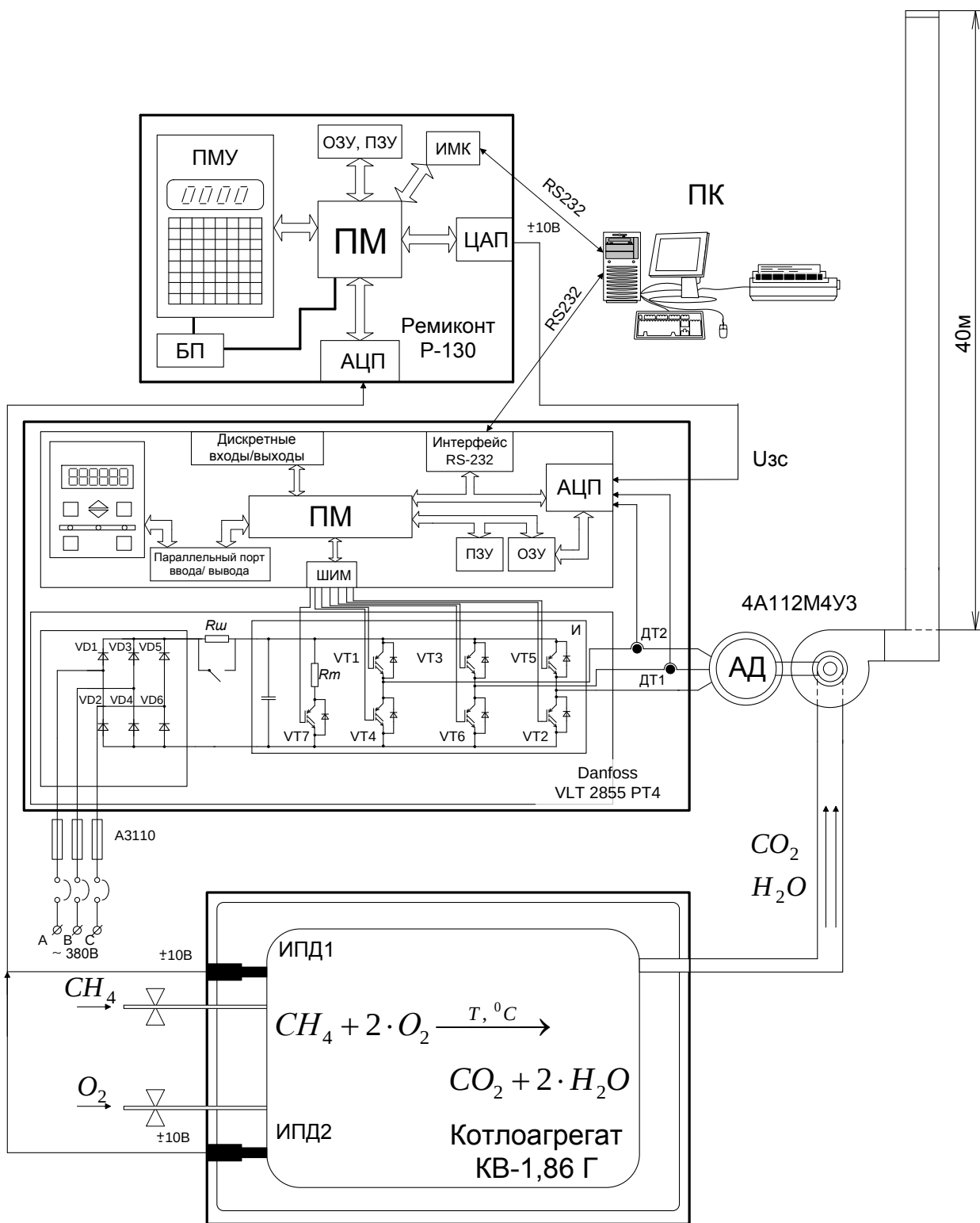


Рисунок 3 - Функциональная схема котлоагрегата КВ-1,86Г

На рисунке 3 представлены:

- Ремиконт Р-130 – контроллер, состоящий из программируемого микропроцессора (ПМ), аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей, блока питания (БП), преобразователя интерфейса (ИМК) и пульта местного управления (ПМУ);
- Danfoss VLT 2855 PT4 – Преобразователь частоты, который состоит из: инвертора (И), выпрямителя, программируемого микропроцессора (ПМ) с аналоговыми и дискретными входами, жидкокристаллического дисплея с клавиатурой, датчиков тока (ДТ1, ДТ2);
- ПК – персональный компьютер с принтером;
- АД серии 5A112M4У3 в составе дымососа дн–6,3–1500;
- Водогрейный котлоагрегат КВ–1,86Г, в состав которого входят: измерительные преобразователи давления (ИПД1, ИПД2), вентили для подачи топлива.

2 ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПЧ-АД

2.1 Расчет параметров и характеристик асинхронного электродвигателя

2.1.1 Паспортные данные электродвигателя

Паспортные данные электродвигателя приведены в таблице 6 [4].

Таблица 6 - Паспортные данные электродвигателя 5A112M4У3

P_H , кВт	s , %	η , %	$\cos \varphi$, о.е.	$\frac{M_{\max}}{M_H}$, о.е.	$\frac{M_{\Pi}}{M_H}$, о.е.	$\frac{M_{\min}}{M_H}$, о.е.	$\frac{I_{\Pi}}{I_H}$, о.е.	n , об/мин	J , кг·м ²
5.5	5	85,5	0,85	2,2	2	1,6	7	1500	0,0306

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.ном}} = \frac{9550 \cdot P_{2H}}{n_H \cdot (1 - s_H)} = \frac{9550 \cdot 5,5}{1500 \cdot (1 - 0,05)} = 36,86 \text{ Нм}.$$

2.1.2 Расчет и построение электромеханической характеристики

На рисунке 4 изображена схема замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором серии 4A112M4У3.

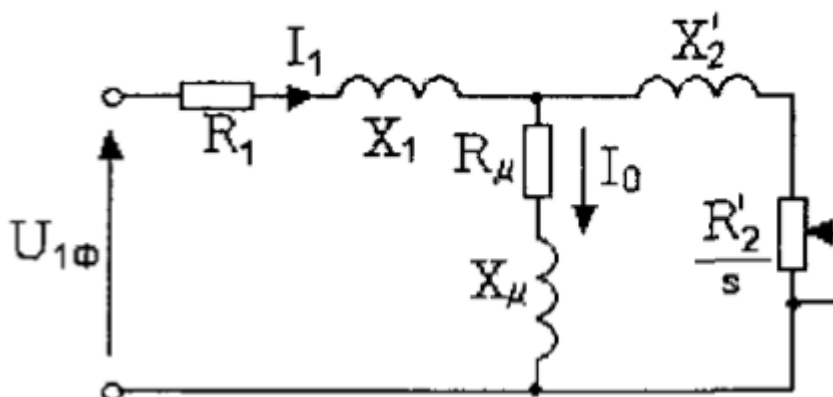


Рисунок 4 – Исходная схема замещения асинхронного двигателя
короткозамкнутым ротором

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* I_{1H} (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}{1 - [p_* (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{8.96^2 - [0.75 \cdot 11.47 \cdot (1 - 0.05) / (1 - 0.75 \cdot 0.05)]^2}{1 - [0.75 \cdot (1 - 0.05) / (1 - 0.75 \cdot 0.05)]^2}} = 4.26 \text{ A},$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{5500}{3 \cdot 220 \cdot 0.85 \cdot 0.855} = 11.47 \text{ A}$ - номинальный ток

статора двигателя;

$s_H = 0.05$ о.е. - номинальное скольжение;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0.75 \cdot 5500}{3 \cdot 220 \cdot 0.816 \cdot 0.855} = 8.96 \text{ A} - \text{ток статора}$$

двигателя при частичной нагрузке;

$\cos \varphi_{p_*} = 0.96 \cdot \cos \varphi_H = 0.96 \cdot 0.85 = 0.816$ - коэффициент мощности при

частичной нагрузке;

$\eta_{p_*} = \eta_H = 0.855$ - КПД при частичной нагрузке;

$p_* = P / P_H = 0.75$ - коэффициент загрузки двигателя.

Из формулы Клосса находим соотношение для расчета скольжения критического

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

$$= 0.02 \cdot \frac{2.2 + \sqrt{(2.2)^2 - [1 - 2 \cdot 0.05 \cdot 1 \cdot (2.2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.05 \cdot 1 \cdot (2.2 - 1)} = 0.238$$

Вычислим коэффициент A_1

$$A_1 = m U_{1\phi}^2 (1 - s_H) / (2 \cdot C_1 \cdot k_{MAX} \cdot P_H) =$$

$$= 3 \cdot 220^2 (1 - 0.05) / (2 \cdot 1.027 \cdot 2.2 \cdot 5500) = 5.553,$$

где $C_1 = 1 + (I_0 / (2 \cdot k_i \cdot I_{1H})) = 1 + (4.26 / (2 \cdot 7 \cdot 11.47)) = 1.027$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1 / s_k) C_1 = 5.553 / (1 + 1 / 0.238) \cdot 1.027 = 1.04 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление статорной обмотки

$$R_1 = C_1 R_2' \beta = 1.027 \cdot 2.286 \cdot 1 = 1.068 \text{ Ом}$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{\text{кн}}$

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0.238^2) - 1^2} = 4.081.$$

$$\text{Тогда } X_{\text{кн}} = \gamma C_1 R_2' = 4.081 \cdot 1.027 \cdot 1.04 = 4.356 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной

$$X_{2\text{н}}' = 0.58 X_{\text{кн}} / C_1 = 0.58 \cdot 4.356 / 1.027 = 2.461 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки

$$X_{1\text{н}} = 0.42 X_{\text{кн}} = 0.42 \cdot 4.356 = 1.83 \text{ Ом}$$

По найденным значениям переменных C_1 , R_1 , R_2' , и X_K определим критическое скольжение

$$s_K = \frac{C_1 R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = \frac{1.027 \cdot 1.04}{\pm \sqrt{1.068^2 + 4.356^2}} = 0.238$$

Рассчитанные по пунктам 2 – 9 значения критического скольжения s_K равны.

Э.Д.С. ветви намагничивания E_1

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1j} \cos \varphi_{1\text{н}} - R_1 I_{1\text{н}})^2 + (U_{1j} \sin \varphi_{1\text{н}} + X_1 I_{1\text{н}})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0.85 - 1.068 \cdot 11.47)^2 + (220 \cdot 0.527 + 1.83 \cdot 11.47)^2} = 221.986 \text{ В} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu\text{н}} = E_1 / I_0 = 221.986 / 4.26 = 52.116 \text{ Ом}$$

Уравнение, определяющее зависимость приведенного тока ротора от скольжения, для расчета естественной электромеханической характеристики

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s X_{\mu H} f_{1*}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{(1.068 + 1.04/s)^2 + 4.356^2 \cdot 1^2 + \left(\frac{1.068 \cdot 1.04}{s \cdot 52.116 \cdot 1}\right)^2}};$$

По приведенному выше уравнению рассчитаем электромеханическую характеристику.

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

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = \sqrt{4.26^2 + I_2'^2 + 2 \cdot 4.26 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2},$$

$$\text{где } \sin \varphi_2 = \frac{x_{KH} f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{KH}^2 f_{1*}^2}} = \frac{4.356 \cdot 1}{\sqrt{(1.068 + \frac{1.04}{s})^2 + 4.356^2 \cdot 1^2}}.$$

Результаты расчета сводятся в таблицу 7.

Таблица 7 - Результаты расчета электромеханических характеристик

s , о.е	0	0,5	1,0	1,5	2,0
ω_1 , рад/с	165	82,7	0	-82,7	-165,0
I_2' , А	0	40,9	45,5	46,8	47,5
I_1 , А	4.3	44,5	49,3	50,8	51,5

По данным таблицы 6 строим электромеханические характеристики (рисунок 5).

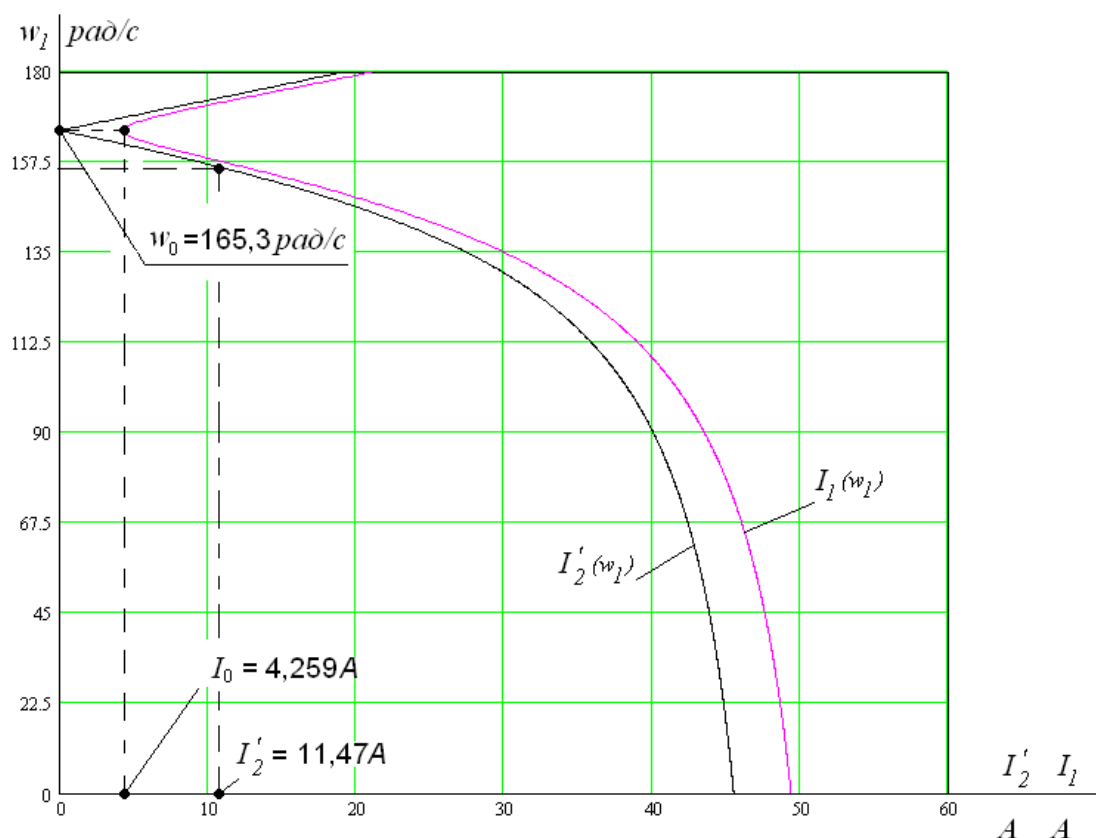


Рисунок 5 – Естественные электромеханические характеристики асинхронного двигателя 4А112М4У3

2.1.3 Расчет и построение механической характеристики

Механическую характеристику АД при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определим по следующей формуле

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} s_j \cdot \left[X_{KH}^2 f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s_j X_{\mu H} f_{1*}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 2.286}{165.3 \cdot s_j \cdot \left[4.356^2 + \left(1.068 + \frac{1.04}{s_j} \right)^2 + \left(\frac{1.068 \cdot 1.04}{s_j \cdot 52.113 \cdot 1} \right)^2 \right]}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 8.

Таблица 8 - Результаты расчета механической характеристики АД

$s, \text{ o.e.}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0
$\omega_1, \text{ рад/с}$	165	82,7	0	-82,7	-165,0
$M, \text{ Нм}$	0	63,2	39,0	27,6	21,2

По данным таблицы 8 построим механическую характеристику, представленную на рисунке 6.

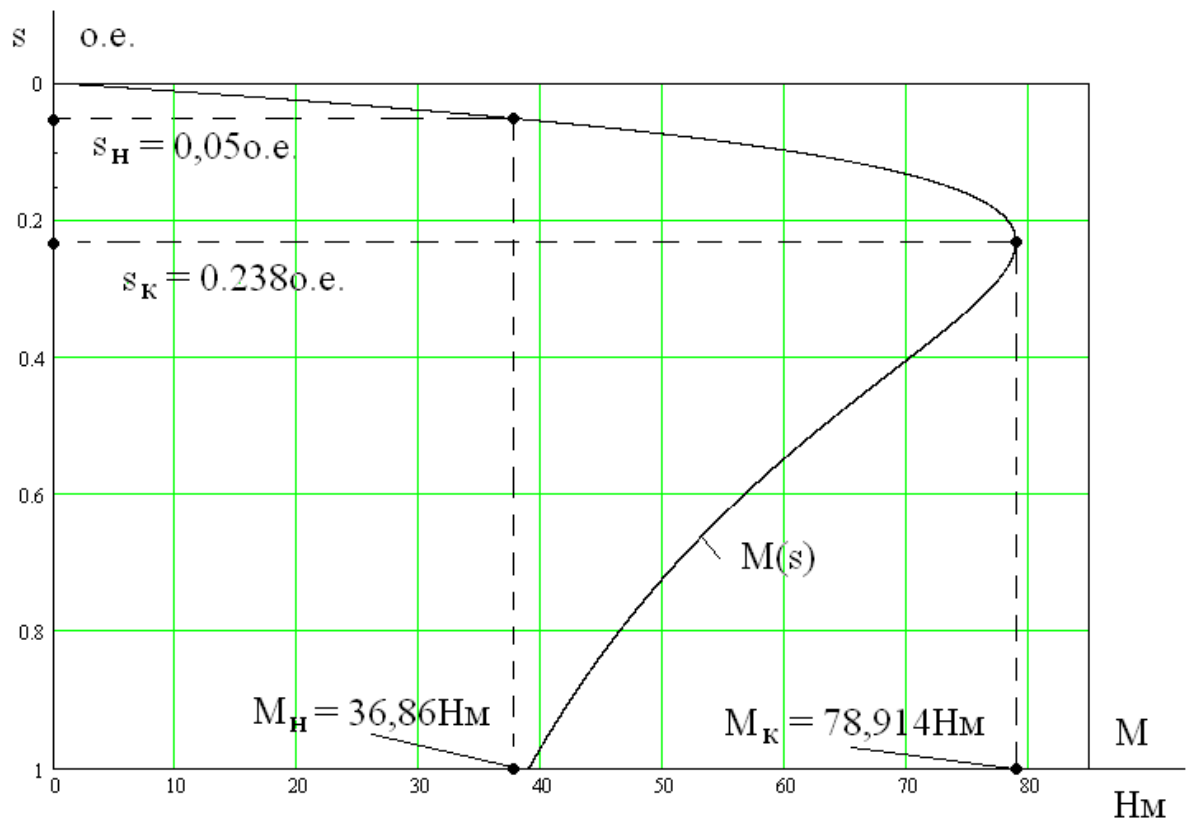


Рисунок 6 – Естественная механическая характеристика АД серии 4A112M4Y3

2.1.4 Расчет момента инерции дымососа

Момент инерции дымососа определим по формуле

$$J_{\text{дм}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р.к}},$$

где $J_{\text{дв}}$ - момент инерции двигателя, $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$; $J_{\text{р.к}}$ - момент инерции рабочего колеса, $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$.

Момент инерции рабочего колеса вентилятора можно приблизительно посчитать как момент инерции цилиндра [8]

$$J_{\text{р.к}} = \frac{m_{\text{р.к}}}{12} \cdot (3 \cdot R_{\text{р.к}}^2 + h^2), \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2},$$

Тогда объем рабочего колеса может быть определен по следующей формуле

$$V_{\text{р.к}} = V_{\text{к.д}} + 16 \cdot V_{\text{л}} + V_{\text{о.д}} + V_{\text{ступ}},$$

Для простоты расчета принимается все части рабочего колеса принимаются толщиной $h = 2\text{мм}$.

На рисунке 7 изображена конструкция рабочего колеса дымососа.

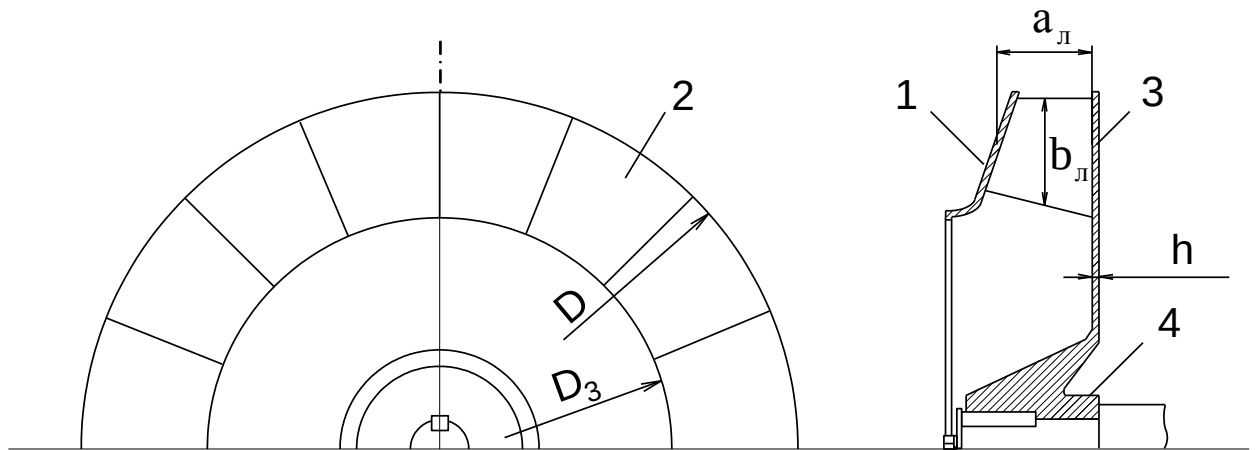


Рисунок 7 – Конструкция рабочего колеса дымососа ДН-6,3-1500 :
1 – диск конический; 2 – лопадки крыльчатки; 3 – диск основной; 4 – ступица

Габаритные размеры:

- Внешний диаметр рабочего колеса: $D = 630$ мм;
- Внутренний диаметр рабочего колеса: $D_3 = 530$ мм;
- Толщина стали рабочего колеса: $h = 2$ мм;
- Средняя длина лопадки крыльчатки: $a_{\text{л}} = 30$ мм;
- Средняя ширина лопадки крыльчатки: $b_{\text{л}} = 30$ мм;

Вычислим объем конического диска. Приближено его объем равен объему цилиндра:

$$V_{\text{к.д}} = \pi \cdot R^2 \cdot h = \pi \cdot 50 \cdot 2 = 15700 \text{ мм}^3,$$

где $R = R_{\text{к}} - R_3 = 315 - 265 = 50$ мм;

$$R_{\text{к}} = \frac{D}{2} = \frac{630}{2} = 315 \text{ мм};$$

$$R_3 = \frac{D_3}{2} = \frac{530}{2} = 265 \text{ мм}.$$

Объем лопадки крыльчатки вычислим как объем куба

$$V_{\text{л}} = S_{\text{л}} \cdot h = a_{\text{л}} \cdot b_{\text{л}} \cdot h = 30 \cdot 30 \cdot 2 = 1800 \text{мм}^3.$$

Объем основного диска

$$V_{\text{о.д}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 630^2}{4} \cdot 2 = 623133 \text{мм}^3.$$

Объем ступицы принимается равным нулю, так как ее момент инерции незначителен.

Тогда объем рабочего колеса

$$V_{\text{р.к}} = V_{\text{к.д}} + 16 \cdot V_{\text{л}} + V_{\text{о.д}} + V_{\text{ступ}} = 15700 + 16 \cdot 1800 + 622133 = 667633 \text{мм}^3.$$

Масса рабочего колеса $m_{\text{р.к}} = V_{\text{р.к}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 667633 \cdot 10^{-9} \cdot 7,7 \cdot 10^3 = 5,144 \text{кг}.$

Таким образом, момент инерции рабочего колеса вентилятора

$$J_{\text{р.к}} = \frac{m_{\text{р.к}}}{12} \cdot (3 \cdot R_{\text{р.к}}^2 + h^2) = \frac{5,144}{12} \cdot (3 \cdot 0,315^2 + 0,002^2) = 0,1276 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

Момент инерции дымососа

$$J_{\text{дм}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р.к}} = 0,0306 + 0,1276 = 0,1582 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

Выбор способа регулирования скорости двигателя

Способ управления скоростью двигателя в системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ–АД)

Таблица 9.Способы управления в системе ПЧ–АД и их показатели

Способ управления	Диапазон регулирования скорости
Скалярное управление , закон управления $U_1/f_1 = \text{const}$: – система разомкнута, с коррекцией вольтчастотной характеристики – система замкнута, с обратной связью по току статора и компенсацией падения напряжения на активном сопротивлении обмоток статора (<i>IR</i> –компенсация или компенсация нагрузки) – система замкнута, с обратной связью по току статора и компенсацией падения напряжения на активном сопротивлении обмоток статора и повышением жесткости статических характеристик (<i>IR</i> –компенсация и компенсация скольжения) – система замкнута, с обратной связью по скорости	менее 10 10 более 10 до 120
Векторное управление: – без датчика скорости (с внутренней моделью) – с датчиком скорости	100-120 не менее 1000

3.1 Выбор преобразователя частоты

Выбираем ПЧ из условий:

$$P_{\text{дв}} \leq P_{\text{ПЧ}}; I_{\text{дв}} \leq I_{\text{ПЧ}}.$$

Для двигателя мощностью равной $P_{\text{дв}} = 5,5 \text{ кВт}$ и номинальным током статора равным $I_{\text{ном}} = 11,47 \text{ А}$ выбран ПЧ серии VLT 2855 фирмы Danfoss. Параметры выбранного ПЧ приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Параметры ПЧ VLT 2855

Параметры ПЧ	Значения параметров
1. Выходной ток	$I_{\text{вых}} = 12,0 \text{ А}$
2. Максимальный ток	$I_{\text{макс}} = 19,2 \text{ А}$
3. Активная номинальная мощность	$P_{\text{вых}} = 5,5 \text{ кВт}$
4. Полная выходная мощность	$S_{\text{вых}} = 8,3 \text{ кВА}$
5. Выходная частота	$f_1 = 0,2 \div 132 \text{ Гц}$
6. Разрешение по частоте	0,013 Гц
7. Диапазон регулирования скорости вращения (разомкнутая система)	$D = 15:1$
8. Погрешность скорости вращения (разомкнутая система)	$\pm 23 \text{ об/мин}$
9. Максимальное сечение провода	$S_{\text{пров}} = 4 \text{ мм}^2$

На рисунке 8 показан внешний вид преобразователей частоты серии VLT 2855.



Рисунок 8 - Внешний вид преобразователей частоты серии VLT 2855

Серия VLT 2800 разработана для применения с электродвигателями малой мощности. Ряд моделей представлен мощностями от 0,37 до 18,5 кВт.

Преобразователи данной серии имеют небольшие размеры, а также допускают монтаж «стенка к стенке». Внутренняя конструкция состоит из двух модулей: силовой части и платы управления.

Преобразователь частоты VLT 2855 имеет следующие важные преимущества, таблица 11:

Таблица 11 – Преимущества ПЧ VLT 2855

Элементы ПЧ VLT 2855	Преимущества
1. Возможности процедуры «АМТ»	Осуществляется автоматическая адаптация к подключенному двигателю, которая измеряет параметры двигателя для оптимального управления им, повышается КПД системы ПЧ-АД.
2. Встроенный ПИД-регулятор	Осуществляется оптимальное управление процессом регулирования. Высокая точность команд «старт/стоп» обеспечивает хорошую повторяемость и точность позиционирования.
3. RFI-фильтр	Подавляет высокочастотные помехи в питающей сети и позволяет нормально работать оборудованию, предъявляющему повышенные требования к электромагнитной совместимости.
4. Интрефейс	ПЧ удобно пользоваться благодаря функции «Быстрое меню», которая включает в себя все необходимые параметры для запуска и нормальной работы. Привод также может управляться и программироваться с внешней панели управления, снабженной графическим интерфейсом. Протоколы связи Profibus и DeviceNet дают возможность полностью контролировать и управлять электроприводом с ПК или контроллера.

Типичные применения: вентиляторы и центробежные насосы.

Преимущества данного ПЧ и его относительно невысокая стоимость (до 75 тыс. руб.) предопределили его применение в данной работе.

3.2 Выбор автоматического выключателя

Для защиты преобразователя частоты применяют автоматические выключатели с время-токовой характеристикой «В» и быстродействующие плавкие предохранители.

Аппараты категории **В** обладают меньшей чувствительностью, чем относящиеся к типу А. Электромагнитный расцепитель в них срабатывает при превышении номинального тока на 200%, а время на срабатывание составляет

0,015 с. Срабатывание биметаллической пластины в размыкателе с характеристикой **B** при аналогичном превышении номинала **AB** занимает 4-5. Аппараты защиты решают две основные задачи: предотвращение разрушения, плавления и, что крайне опасно, возгорания изоляции подводящей и приборной электропроводки при сверхтоках, которые могут возникнуть при внутренних коротких замыканиях, а также, по возможности, ограничение токовых нагрузок во входных цепях полупроводниковых приборов преобразователя частоты. Такими входными цепями являются выпрямительные мосты.

Автоматические выключатели являются аппаратами защиты многократного действия и предназначены для защиты вентильных преобразователей от внешних КЗ и перегрузок по току. Автоматические выключатели переменного тока устанавливаются перед преобразователем. Так же они обеспечивают разрыв цепи при ремонтных работах. Автоматический выключатель выбирается по условию:

$$\begin{aligned} I_{авн} &\geq (1,5 \div 2,0) \cdot I_{пчн} \\ I_{авн} &\geq 2 \cdot 12, \\ 25 &\geq 24 \end{aligned}$$

где $I_{авн}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{пчн}$ – номинальный выходной ток преобразователя частоты, А.

Так как автоматический выключатель на 24 ампера не выпускаются, выбираем выключатель на 25 ампер:

Автоматический выключатель LEGRAND DX3-E 2P 25A (C) 6000/6KA



Рисунок 9- Автоматический выключатель

Параметры:

Ампер:	25A
Кол-во полюсов:	2 полюсные
Производитель:	Legrand
Серия НВО:	DX3
Вид:	2 полюсные (двухполюсные)
Модель:	DX3
Максимальный ток:	6kA
Отключение нейтрали (N):	Нет
Модульная ширина (общ. кол-во модульных расстояний):	2
Степень загрязнения:	2
Класс токоограничения:	3
Характеристика срабатывания (кривая тока):	C
Номин. (расчетное) напряжение:	400В
Тип напряжения:	АС (перемен.)
Код РАЭК:	475684
Степень защиты (IP):	IP20
Частота:	50Гц
Глубина установочная (встраив.):	44мм
Тип изделия:	Модульный автоматический выключатель
Количество защищенных полюсов:	2
Номин. отключающая способность по EN 60898:	6кА

3.3 Выбор предохранителей

Для защиты силовых вентилях ПЧ при внешних и внутренних коротких замыканиях широко применяются быстродействующие (порядок времени срабатывания - микросекунды) плавкие предохранители. Предохранители устанавливаются в цепи питания ПЧ и выбираются по току, аналогично выбору автоматических выключателей.

Был выбран предохранитель АВВ Е9F 25А:



Рисунок 10. Предохранитель АВВ Е9F 25А

3.4 Выбор дросселей и фильтров

По номинальному выходному току, выбранного преобразователя частоты, выбираем сетевой и моторный дроссели, входной и выходной фильтры.

Сетевые дроссели цепи переменного тока

Таблица 12. Тип сетевого дросселя

Тип сетевого дросселя цепи переменного тока	Мощность частотного преобразователя, кВт	Ток, А	Индуктивность, мГн
ФС-156-2	5.5	13.0	1.56



Рисунок 11-Сетевой дроссель ФС-156-2

Входные сетевые дроссели ФС / СТА-ФС устанавливаются на входе преобразователя частоты со стороны питающей сети.

Назначение входных сетевых дросселей:

- подавление гармоник сетевых токов и напряжений;
- уменьшение тепловыделения при работе преобразователя частоты, повышение его КПД;

- снижение вероятности возникновения аварий из-за неустойчивости или кратковременного пропадания питающей сети.

Входной сетевой дроссель необходимо устанавливать:

- при мощности сети в десятки раз превышающей номинальную мощность частотного преобразователя;
- при питании от одной сети других мощных устройств, помимо частотного преобразователя.

3.4.1 Входные фильтры высококачественных помех

Таблица 13. Тип входного фильтра

Тип входного фильтра ВЧ-помех	Мощность частотного преобразователя, кВт	Ток, А
ФЭМС- LC-5.5-7.5	5.5	16.0

Входной фильтр ВЧ-помех применяется для снижения уровня ВЧ-электромагнитных помех, которые излучаются в сеть при работе ПЧ.

Рекомендуется использовать, если электропитание ПЧ осуществляется от одного ввода совместно с другими устройствами, которые чувствительны к электромагнитным помехам (контроллеры, ПК и т.д.).



Рисунок 12-Входной фильтр

Назначение входных фильтров помех:

- повышение электромагнитной совместимости частотного преобразователя;
- снижение высокочастотных электромагнитных помех, генерируемых частотным преобразователем.

Входные фильтры помех необходимо устанавливать:

- при питании преобразователя частоты от одной сети с чувствительными в плане помех устройствами (ПЛК, ПК, другими устройствами автоматики)

3.4.2 Выходные (моторные) дроссели цепи переменного тока

Таблица 14. Характеристики выбранного выходного дросселя

Тип моторного дросселя цепи переменного тока	Мощность частотного преобразователя, кВт	Ток, А	Индуктивность, мГн
ФМ-800-3	5.5	16.0	0.8

Выходные моторные дроссели ФМ устанавливаются на выходе преобразователя частоты со стороны электродвигателя.

Назначение выходных моторных дросселей:

- подавления гармоник моторных токов и напряжений;
- снижение излишних тепловыделений в обмотках статора электродвигателя;
- подавление токов утечки в моторных кабелях.

Выходной моторный дроссель необходимо устанавливать:

- при длине кабелей между преобразователем частоты и электродвигателем более 50 метров.

3.4.3 Выходные фильтры высококачественных помех

Таблица 15. Тип Выходного фильтра

Тип выходного фильтра ВЧ-помех	Мощность частотного преобразователя, кВт	Ток, А
ФЭММ- LC-5.5-7.5	5.5	16.0



Рисунок 13- Фильтр ФЭММ-LC-5.5-7.5

Выходные моторные фильтры помех СТА-ФЭММ устанавливаются на выходе преобразователя частоты.

Назначение выходных фильтров помех:

- повышение электромагнитной совместимости частотного преобразователя;
- снижение высокочастотных электромагнитных помех, генерируемых частотным преобразователем.

Выходные фильтры помех необходимо устанавливать:

- при питании преобразователя частоты от одной сети с чувствительными в плане помех устройствами (ПЛК, ПК, другими устройствами автоматики).

3.5 Выбор питающих кабелей

Кабели, которые используются для подключения к источнику питания частотного преобразователя, а также для подключения преобразователя частоты к асинхронному двигателю, должны соответствовать требованиям электромагнитной совместимости, номинальному току на выходе частотного преобразователя, температуре нагрева проводников.

При работе преобразователя частоты создается высокий уровень импульсных помех в кабеле преобразователь частоты – электродвигатель. В зависимости от длины кабеля и условий прокладки будет определяться уровень помех на электронные устройства:

Сечение и марка кабеля выбирается на основании условия:

$$I_{\text{доп}} \geq \sum I_{\text{ном.ЭО}},$$

где $\sum I_{\text{ном.ЭО}}$ - сумма номинальных токов преобразователя частоты и асинхронного двигателя.

Для данного электродвигателя был выбран кабель: ВВГнг 3х3.5 - 15А/ 5.7 кВт кабель. Так как номинальный ток составляет $11.47 \approx 12\text{А}$. Кабель ВВГнг(А) 3х3.5 соответствует всем требованиям ГОСТ, проходит любые проверки и содержит все необходимые сертификаты и паспорта.

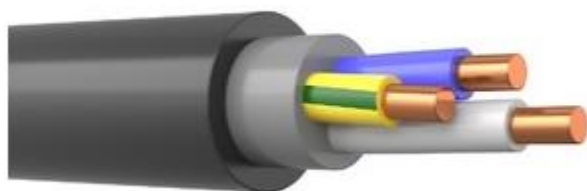


Рисунок 14- ВВГнг 3х3.5 - 15А/ 5.7 кВт кабель

ВВГнг 3х3.5 - кабель силовой медный с 3 медными токонесущими жилами сечением 3,5 квадратных миллиметров, в изоляции и оболочке из негорючего поливинилхлоридного прееластика

ВВГнг 3х3.5 - является сокращенной маркировкой кабеля силового медного с изоляцией и оболочкой из ПВХ пластиката пониженной горючести, полная маркировка: ВВГнг(А) 3*3х3.5.

Технические характеристики кабеля ВВГнг 3х3х3.5

Вид климатического исполнения кабелей - УХЛ, категории размещения 1 и 5 по ГОСТ 15150-69.

Температура эксплуатации от -50 до +50 градусов Цельсия..

Кабели ВВГнг (А) не распространяют горение при прокладке группой по категории (А).

Температура нагрева жил при эксплуатации не должна превышать +70°C.

Температура жил при токах короткого замыкания не должна превышать +150°C.

Расчетная масса кабеля ВВГнг 3х3.5 составляет 0,33 килограмм в метре.

Расшифровка маркировки ВВГнг(А) 3х3,5

В - Изоляция из поливинилхлоридного пластиката.

В - Оболочка из поливинилхлоридного пластиката.

Г - Не имеет брони.

нг - ПВХ пластикат пониженной пожарной опасности.

(А) - Индекс пожарной опасности, означает что кабель не распространяет горение при групповой прокладке (прокладке в пучках).

3 - Количество токонесущих жил.

3х3.5 - Сечение жил

3.6 Выбор измерительного преобразователя давления

Технологическим процессом горения предъявляются требования, которые важно учитывать при выборе преобразователя давления. Преобразователь давления (ПД) устанавливается в топочной камере, по этой причине производится выбор ПД по максимальному возможному разрежению, которое создается в топочной камере, и по избыточному давлению.

Экспертным путем определено значение разрежения в топке котлоагрегата, при котором происходит полное сгорание топлива при постоянных значениях подачи газозоудушной смеси (-35кПа). Значение максимально возможного в процессе горения разрежения при розжиге составляет -60кПа. Погрешность составляет ± 5 кПа. Также необходимо учесть агрессивность среды, в которой происходят измерения (смесь газов и воздуха с температурой ≈ 600 °С и продукт горения, которым является водяной пар). Приняв эти ограничения, выбран ИПД JUMO dTRANS p02. Измерительный преобразователь давления (ИПД) предназначен для измерения абсолютного давления агрессивных сред и преобразования его в электрический сигнал.

Технические параметры ИПД:

- Сигнал выхода 4-20мА;
- Постоянная времени при отсутствии демпфинирования 150 мс;
- Питание постоянным напряжением 11,5-30В;
- Измерительный диапазон -1-100бар (-100кПа-10МПа).

На рисунке 15 представлен внешний вид выбранного ИПД.

Значения абсолютного давления фиксируются с нескольких рабочих точек: у горелок, у сопел подачи смеси из газа и воздуха. Далее полученные значения передаются на аналоговые входы контроллера Ремиконт Р-130, Установка усилителя и гальванической развязки не требуется благодаря усилению сигнала в самом ИПД.



Рисунок 15 - Измерительный преобразователь давления

Подключение ИПД к источнику питания показано на рисунке 16



Рисунок 16 - Подключение измерительного преобразователя давления

Подключение нескольких (до 15-ти) ИПД к источнику питания изображено на рисунке 17

Электрическое соединение

Присоединение		Штекер
Питание 11,5... 36 В DC 11,5... 30 В DC для искробезопасного исполнения		1 L+ 2 L-
Выходной сигнал 4... 20 мА двухпроводной		пропорциональный ток 4... 20 мА, вспомогательное напряжение
Испытательное соединение Токовый выход	Внутреннее сопротивление амперметра макс. 10 Ом	TEST + TEST -
Испытательное соединение HART®		TEST + HART
Выравнивание потенциалов (для искробезопасной цепи)		
Экранирование		

Схема подключения

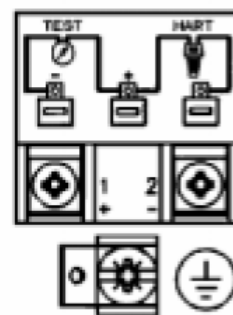


Рисунок 17 - Подключение нескольких преобразователей к общему источнику питания

3.7 Выбор преобразователя интерфейса

Для состыковки портов RS-232 и RS-485 необходимо устройство преобразования – преобразователь интерфейса (ПИ). Модельный ряд ПИ весьма разнообразен. Выбираем ПИ, который удовлетворяет следующим условиям: наличие гальванической развязки для предотвращения протекания силовых токов в цепи управления; наличие защиты от короткого замыкания и электромагнитных помех, возникающих в силовой части ПЧ; возможность передачи данных на расстоянии от 50 м.

Данным условиям удовлетворяет преобразователь интерфейса серии RealLab NL-232-485.

Функциональная схема ПИ NL-232-485 изображена на рисунке 18

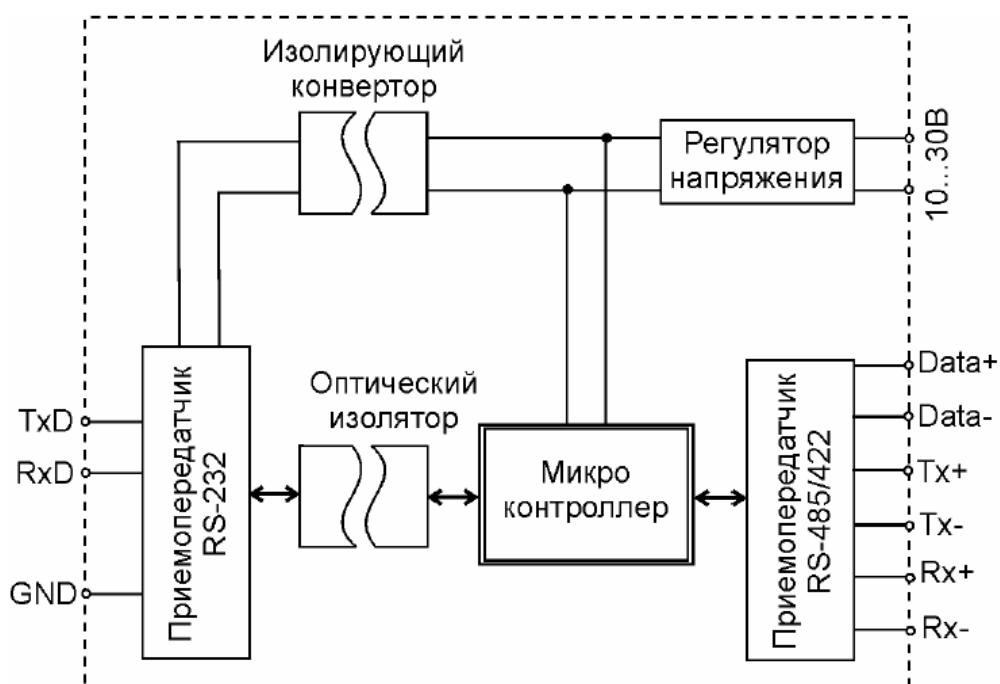


Рисунок 18 – Функциональная схема ПИ
NL-232-485 серии RealLab

Технические данные ПИ NL-232-485 приведены в таблице 16:

Таблица 16 – Технические данные ПИ NL-232-485

Технические параметры	Значение параметров
Температурный диапазон работоспособности	от -40 до +70 °C
Возможность «горячей замены»	присутствует
Напряжение питания	от 10 до 30 В
Скорость обмена данных	до 115,2 кбит/с
Степень защиты	IP20
Наработка на отказ	не менее 100 000 часов
Вес модуля	135 г

3.8 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода

Момент сопротивления турбомеханизма есть сумма момента аэродинамического сопротивления, который пропорционален квадрату частоты вращения, и момента, который обусловлен механическим сопротивлением

$$M_c(\omega) = M_{c0} + (M_{сн} - M_{c0}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2.$$

Для дымососов начальный момент сопротивления составляет [28]

$$M_{c0} = 0.15 \cdot M_{сн}$$

тогда характеристика момента сопротивления дымососа от угловой скорости представляется следующей зависимостью [28]

$$\begin{aligned} M_c(\omega) &= 0.15 \cdot M_{сн} + 0.85 \cdot M_{сн} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 = 0,15 \cdot 36,865 + \frac{0.85 \cdot 36,86}{157,1^2} \cdot \omega^2 = \\ &= 5,5 + 0.0013 \cdot \omega^2. \end{aligned}$$

С целью обеспечения заданного диапазона регулирования $D=10:1$ регулирование скорости вниз от основной $\omega_0=157,1$ рад/с до скорости $\omega_0=15,71$ рад/с осуществляется при реализации закона управления $U_1/f_1 = \text{const}$.

Механическая характеристика АД при переменных значениях величины и частоты питающего напряжения определяется формулой:

$$\begin{aligned} M(s) &= \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{мн} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,04}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[4,356^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(1,068 + \frac{1,04}{s} \right)^2 + \left(\frac{1,068 \cdot 1,04}{s \cdot 52,116 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}, \end{aligned}$$

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

ω_{0j} – синхронная частота вращения АД;

$f_{1*} = f_{1j} / f_{1H}$ – относительное значение частоты напряжения питания.

Механические характеристики АД при управлении частотой отображены на рисунке 19.

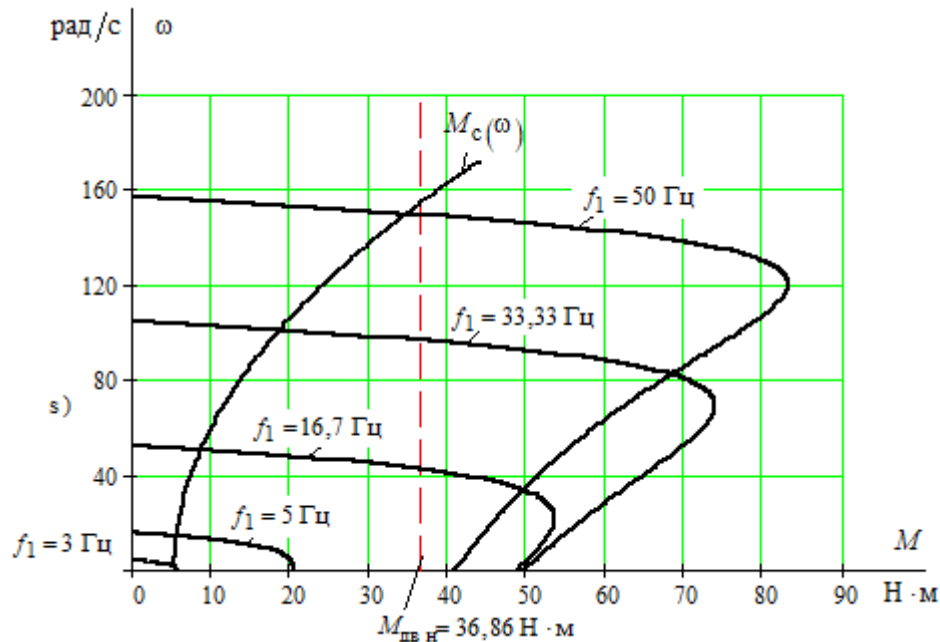


Рисунок 19 – Механические характеристики разомкнутой системы ПЧ-АД

Формула для расчета электромеханических характеристик, которые определяют как зависит приведенный ток ротора от скольжения s при выбранном законе управления $U/f = \text{const}$

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1*}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(1,068 + \frac{1,04}{s}\right)^2 + 4,356^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{1,068 \cdot 1,04}{s \cdot 52,116 \cdot f_{1*}}\right)^2}}.$$

Расчетное выражение для электромеханических характеристик $I_1 = f(s)$, отражающих зависимость тока статора I_1 от скольжения

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} =$$

$$= \sqrt{4,26^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot 4,26 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2(s)}$$

где $\sin \varphi_2 = \frac{x_{\text{кн}} \cdot f_{1*}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{4,356 \cdot f_{1*}}{\sqrt{(1,068 + \frac{1,04}{s})^2 + 52,116^2 \cdot f_{1*}^2}};$

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (x_{1\text{н}} + x_{\mu\text{н}})^2 \cdot f_{1*}^2}}.$$

Электромеханические характеристики $I_2'(\omega)$ и $I_1(\omega)$ при законе управления $U_1/f_1 = \text{const}$ представлены на рисунках 20 и 21.

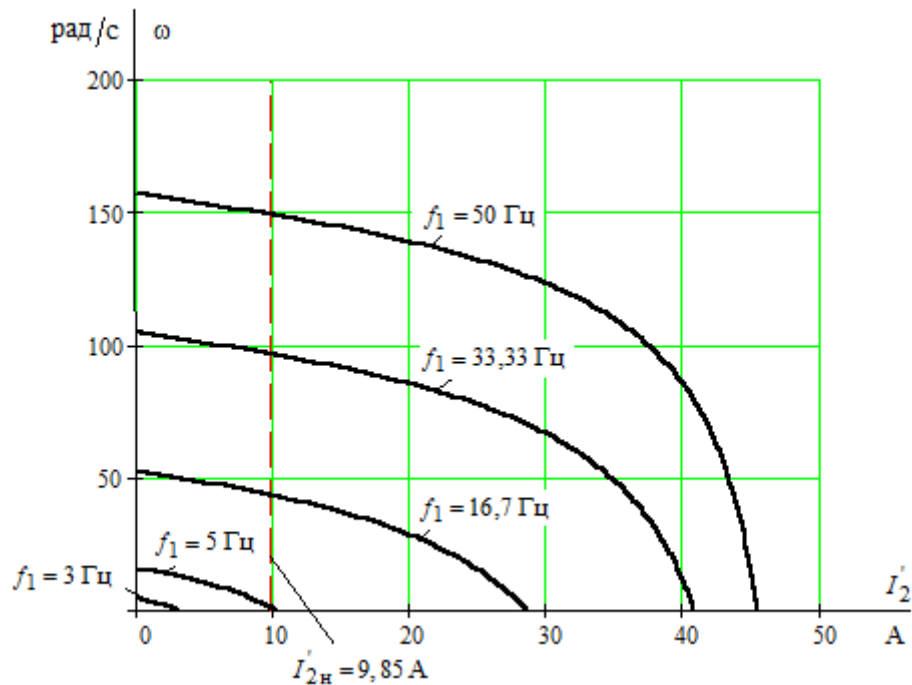


Рисунок 20 – Электромеханические характеристики $I_2'(s)$
разомкнутой системы ПЧ-АД

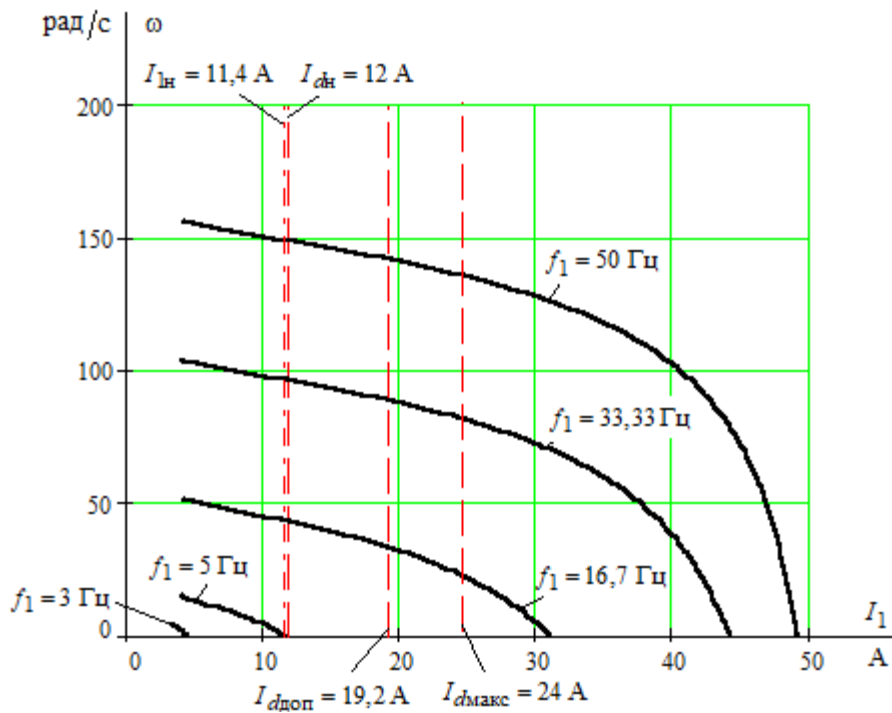


Рисунок 21 – Электромеханические характеристики $I_1(s)$ разомкнутой системы ПЧ-АД

Анализ полученных механических характеристик, изображенных на рисунке 21, показывает, при реализации выбранного закона регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$ электропривод дымососа обеспечивает требуемый диапазон регулирования скорости от $\omega_0 = 15,71 \text{ рад/с}$ до $\omega_0 = 157,1 \text{ рад/с}$.

Пусковая характеристика обеспечивается при начальном значении частоты $f_1 = 3 \text{ Гц}$.

4 ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЫМОСОСА

4.1 Структурная схема асинхронного двигателя

Оптимизация САУ ЭП дымососа выполняется методом имитационного моделирования в программной среде MatLab.

АД представлен системой уравнений в неподвижной системе координат относительно обмоток статора [6, 12]:

$$\begin{aligned}U_s &= R_s \cdot i_s + \frac{d\psi_s}{dt}, \\U_r &= R_r' \cdot i_r' + \frac{d\psi_r'}{dt} - j \cdot \omega_r \cdot \psi_r, \\ \psi_s &= L_s \cdot i_s + L_\mu \cdot i_r', \\ \psi_r &= L_r' \cdot i_r' + L_\mu \cdot i_s, \\ M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot (\psi \times i_s).\end{aligned}$$

После проведенных математических преобразований получается система уравнений:

$$\begin{aligned}p \cdot i_{s\alpha} &= \frac{1}{L_\sigma} \cdot (U_{s\alpha} - R_\sigma \cdot i_{s\alpha} + p \cdot K_r \cdot \omega_r \cdot \psi_{r\beta} + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\alpha}), \\ p \cdot i_{s\beta} &= \frac{1}{L_\sigma} \cdot (U_{s\beta} - R_\sigma \cdot i_{s\beta} - p \cdot K_r \cdot \omega_r \cdot \psi_{r\alpha} + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\beta}), \\ p \cdot \psi_{r\alpha} &= R_r \cdot K_r \cdot i_{s\alpha} - A_r \cdot \psi_{r\alpha} - \omega_r \cdot \psi_{r\beta} \cdot p, \\ p \cdot \psi_{r\beta} &= R_r \cdot K_r \cdot i_{s\beta} - A_r \cdot \psi_{r\beta} + \omega_r \cdot \psi_{r\alpha} \cdot p, \\ M &= \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot K_r (\psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}), \\ p \cdot \omega_r &= \frac{1}{J} \cdot (M - M_c).\end{aligned}$$

По приведенной выше системе уравнений составлена структурная схема АД с КЗ ротором в неподвижной системе координат, представленная на рисунке 22

На схеме приняты следующие обозначения:

$A_r = \frac{R_r}{L_r} = \frac{R_{2H}'}{L_{2H}'} = \frac{1,04}{0,17681} = 5,984с$ - коэффициент, обратный величине постоянной времени,

где $L'_{2н} = \frac{X'_{2н}}{2 \cdot \pi} = \frac{X'_{2н\sigma} + X_{\muн}}{2 \cdot \pi} = \frac{2,461 + 52,116}{2 \cdot \pi} = 0,17381 \text{ Гн}$ - индуктивность ротора; $X'_{2н\sigma}$ - индуктивное сопротивление рассеяния ротора; $Z_p = 2$ - число пар полюсов АД;

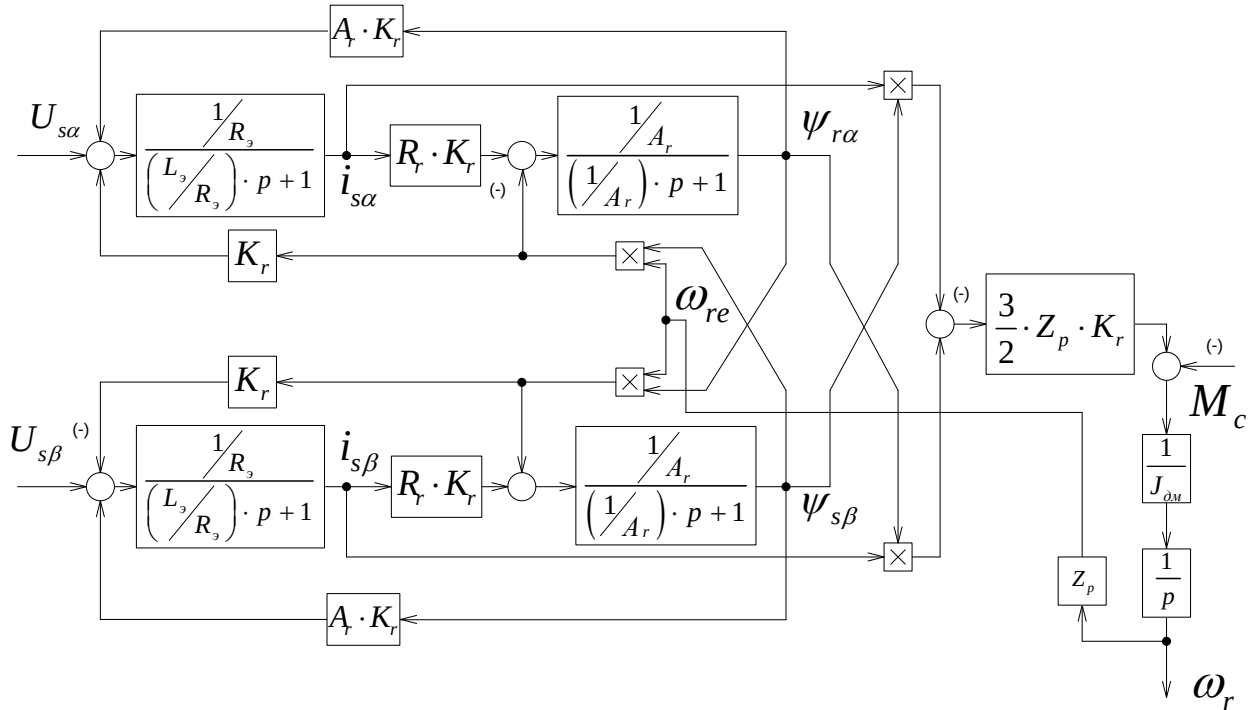


Рисунок 22 – Структурная схема АД в неподвижной системе координат

$K_r = \frac{L_{\muн}}{L'_{2н}} = \frac{0,16597}{0,17381} = 0,955$ - коэффициент пропорциональности;

$R_3 = R_1 + R'_2 \cdot K_r^2 = 1,08 + 1,04 \cdot 0,955^2 = 2,016 \text{ Ом}$ - эквивалентное активное сопротивление, введенное для упрощения системы уравнений;

$L_3 = L_1 - \frac{L_{\muн}^2}{L'_{2н}} = 0,1718 - \frac{0,16597^2}{0,17381} = 0,0133 \text{ Гн}$ - эквивалентная индуктивность структурной схемы, введенное для упрощения системы уравнений.

$L_1 = \frac{X_{1н}}{2 \cdot \pi} = \frac{X_{1н\sigma} + X_{\muн}}{2 \cdot \pi} = \frac{1,83 + 52,116}{2 \cdot \pi} = 0,1718 \text{ Гн}$ - индуктивность статора.

$X_{1н\sigma}$ - индуктивное сопротивление рассеяния статора;

$U_{s\alpha}, U_{s\beta}$ - значения напряжений в неподвижной системе координат.

4.2 Имитационная модель АД

По структурной схеме АД в программе MatLab составлена имитационная модель АД, изображенная на рисунке 23.

4.2.1 Проверка системы трехфазных и двухфазных напряжений

Для проверки 3-фазной сети используют следующие параметры: частота сети (период синусоид); амплитуда фазы.

Осциллограмма питающей трехфазной сети представлена на рисунке 24.

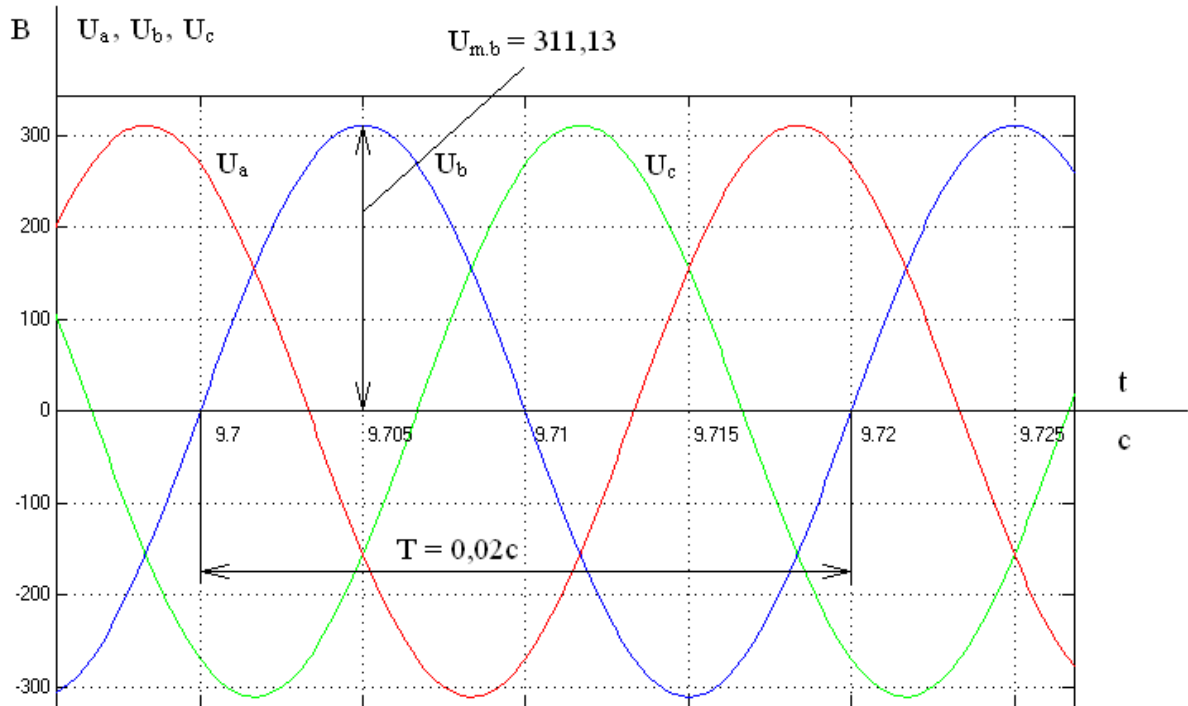


Рисунок 24 – Осциллограммы напряжений 3-фазной питающей сети

$$\text{Частота сети} - f_c = \frac{\omega}{T} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Гц}.$$

$$\text{Амплитуда напряжения} - U_m = 220 \cdot \sqrt{2} = 311,13 \text{ В}.$$

Как видно из осциллограмм и расчетов, питающая сеть удовлетворяет заданным условиям и может быть использована для питания ПЧ.

Проверка 2-фазной питающей сети проводится аналогично проверке 3-фазной сети, осциллограммы напряжений показана на рисунке 25.

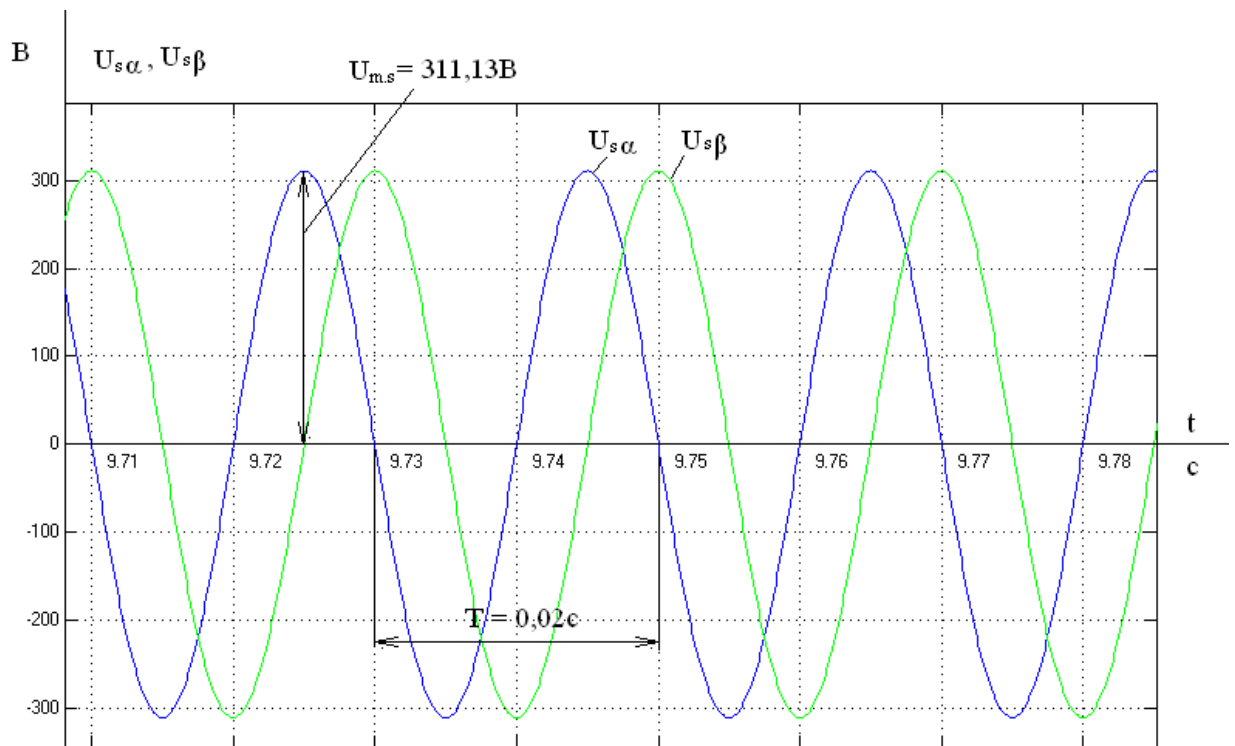


Рисунок 25 – Осциллограммы 2-фазной питающей сети

Частота сети – $f_c = \frac{\omega}{T} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Гц}$.

Амплитуда напряжения – $U_m = 220 \cdot \sqrt{2} = 311,13 \text{ В}$.

2-фазную сеть может быть использована для исследования имитационной модели.

4.2.2 Проверка адекватности имитационной модели АД

Проверка адекватности имитационной модели заключена в расчете и построении переходных характеристик АД, сравнении полученных результатов с данными, указанными в паспорте двигателя.

Переходные процессы при прямом пуске АД на номинальную скорость показаны на рисунке 26. В момент времени $t = 0,25 \text{ с}$ (после стабилизации скорости) к валу двигателя приложен номинальный момент $M_n = 36,86 \text{ Нм}$.

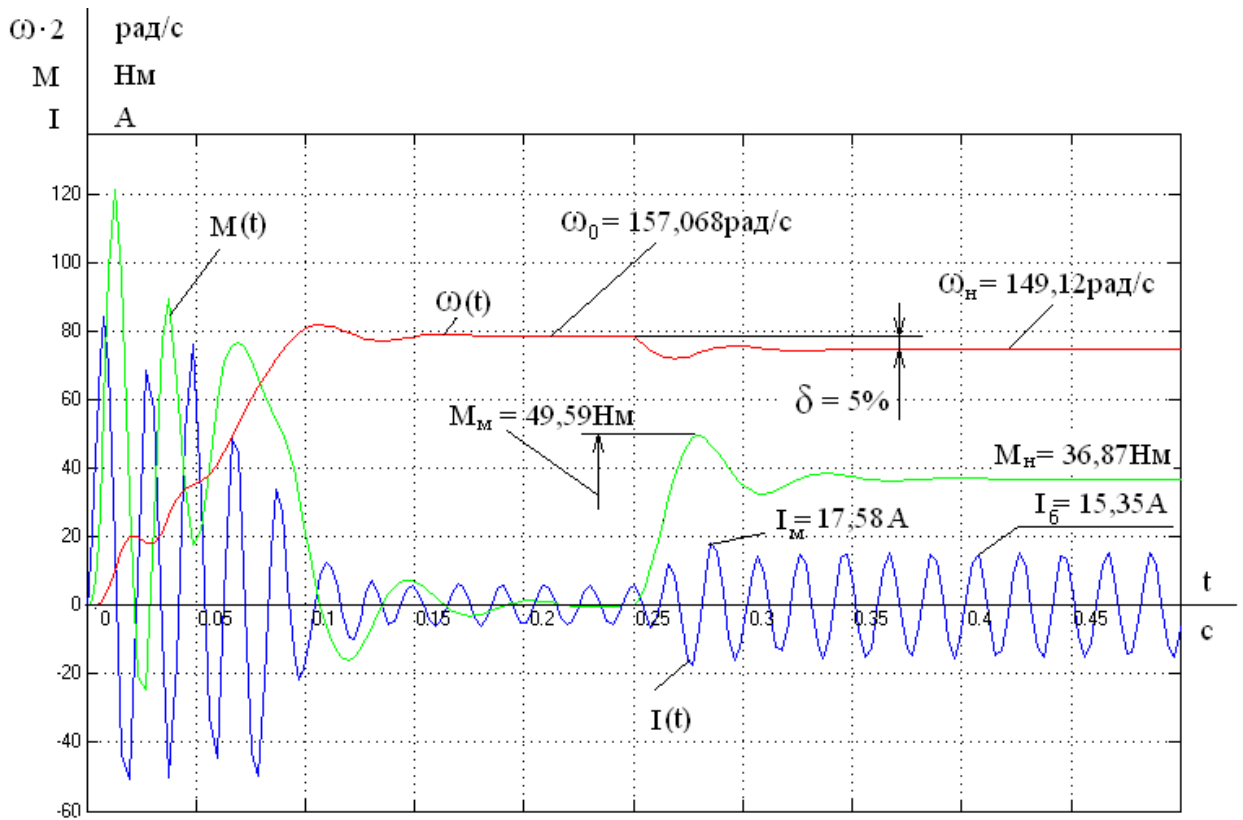


Рисунок 26 – Переходные процессы пуска АД
и наброса нагрузки

Как видно из рисунка 26, при набросе нагрузки, равной номинальному моменту двигателя, частота вращения вала двигателя уменьшается с синхронной $\omega_0 = 157,068$ рад/с до $\omega = 149,2$ рад/с, величина скольжения, равная

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = \frac{157,068 - 149,2}{157,068} \cdot 100 = 0,05\%$$

соответствует номинальному значению (см. таблицу 6).

$$\text{Ток статора } I_n = \frac{I_6}{\sqrt{2}} = \frac{15,35}{\sqrt{2}} = 10,85 \text{ А}$$

незначительно отличается от выше рассчитанного номинального значения.

Кроме того, по графику переходных процессов видно, что пусковой ток превышает номинальный до 7 раз, а максимальное значение момента – до 3 раз, что соответствует паспортным данным.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что имитационная модель, созданная в программной среде Matlab, адекватно имитирует

процессы, протекающие в АД серии 5А112М4У3. Поэтому в данном случае использование этой модели в качестве исходной для исследований оправдано.

4.3 САУ ЭП при скалярном управлении

4.3.1 Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении

Переходным процессам прямого пуска АД (рисунок 26) присущи существенные колебания момента, что недопустимо. По этой причине прямой пуск на номинальную частоту вращения не применяется. Требуемая кривая разгона может быть сформирована с помощью задатчика интенсивности.

Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении представлена на рисунке 27.

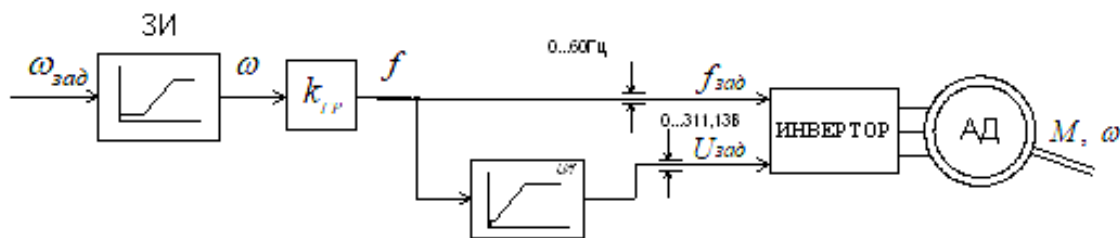


Рисунок 27 - Структурная схема скалярной САУ ЭП дымососа:
 ЗИ – задатчик интенсивности; $K_{ПР} = 2 \cdot \pi / 2$ – коэффициент преобразования;
 АД – асинхронный двигатель; U/f – блок формирования вольт-частотной
характеристики

Блок U/f формирует значение напряжения задания $U_{зад}$ в зависимости от заданной скорости. Сигналы $U_{зад}$ и $f_{зад}$ входные сигналы инвертора, формирующего систему трехфазных напряжений для питания АД.

В зависимости от параметров ЗИ можно формировать пуск и торможение АД с заданным темпом.

4.3.2 Имитационная модель САУ ЭП при скалярном управлении

По структурной схеме, изображенной на рисунке 27, построим имитационную модель САУ, показанную на рисунке 28.

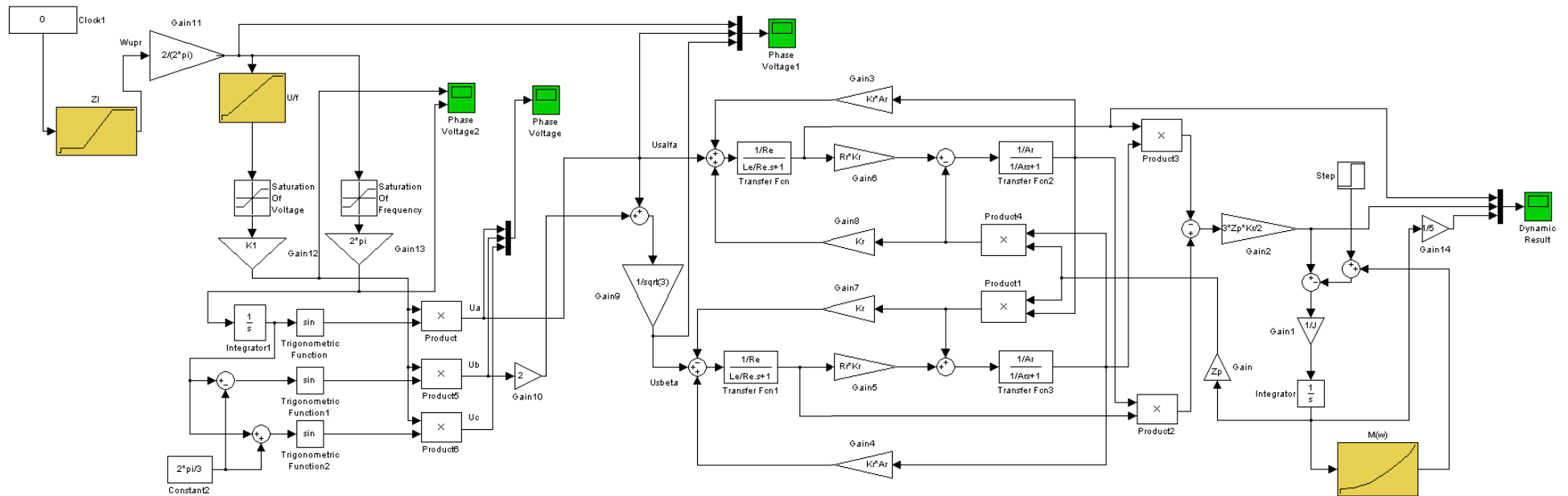


Рисунок 28 – Имитационная модель САУ ЭП при скалярном управлении

4.3.3 Имитационное моделирование САУ ЭП при скалярном управлении

По собранной имитационной модели САУ ЭП рассчитываются и строятся графики переходных процессов для 4-х основных режимов работы электропривода: пуск на частоту вращения; пуск на максимальную частоту вращения; переход с минимальной частоты вращения на максимальную; переход с максимальной частоты вращения на минимальную.

Переходные процессы пуска на минимальную частоту вращения $\omega_0 = 15,7$ рад/с на холостом ходу с последующим набросом нагрузки отображены на рисунке 29.

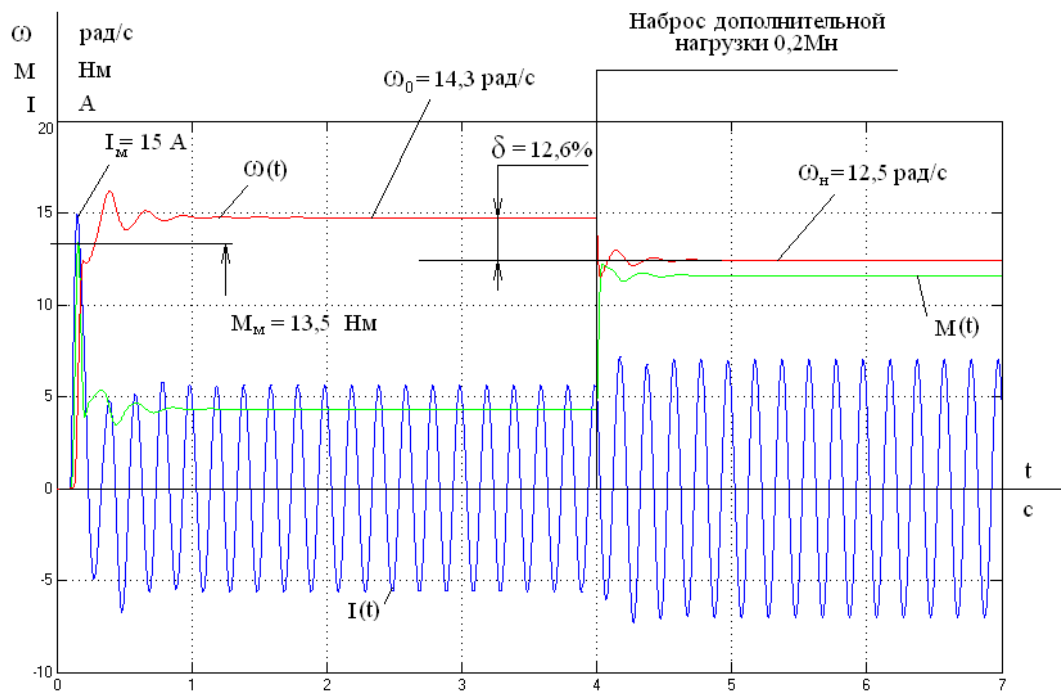


Рисунок 29 – Пуск на минимальную частоту вращения и наброс нагрузки

Из снятых осциллограмм видно, что значения пускового тока и момента не превышают допустимых значений. Хотя при набросе дополнительной нагрузки, равной $0,2 \cdot M_n$ скорость уменьшается с $\omega = 14,3$ рад/с до $\omega = 12,5$ рад/с, погрешность составляет $\delta = 12,6\%$. Учитывая допущения, которые были приняты при составлении математической модели, можно сказать, что работа электропривода на нижней скорости неудовлетворительна.

Переходные процессы пуска на максимальную частоту вращения показаны на рисунке 30. Погрешность по скорости составляет $\delta = 5,2\%$.

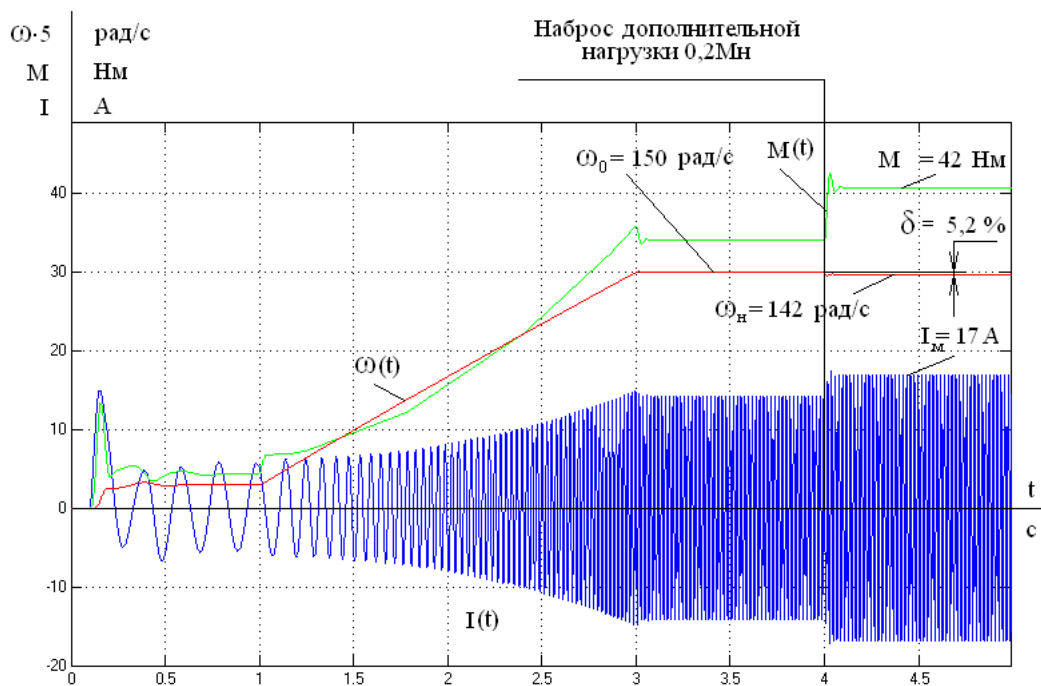


Рисунок 30 - Пуск на максимальную частоту вращения и наброс нагрузки
 График перехода с минимальной частоты вращения на максимальную
 показан на рисунке 31.

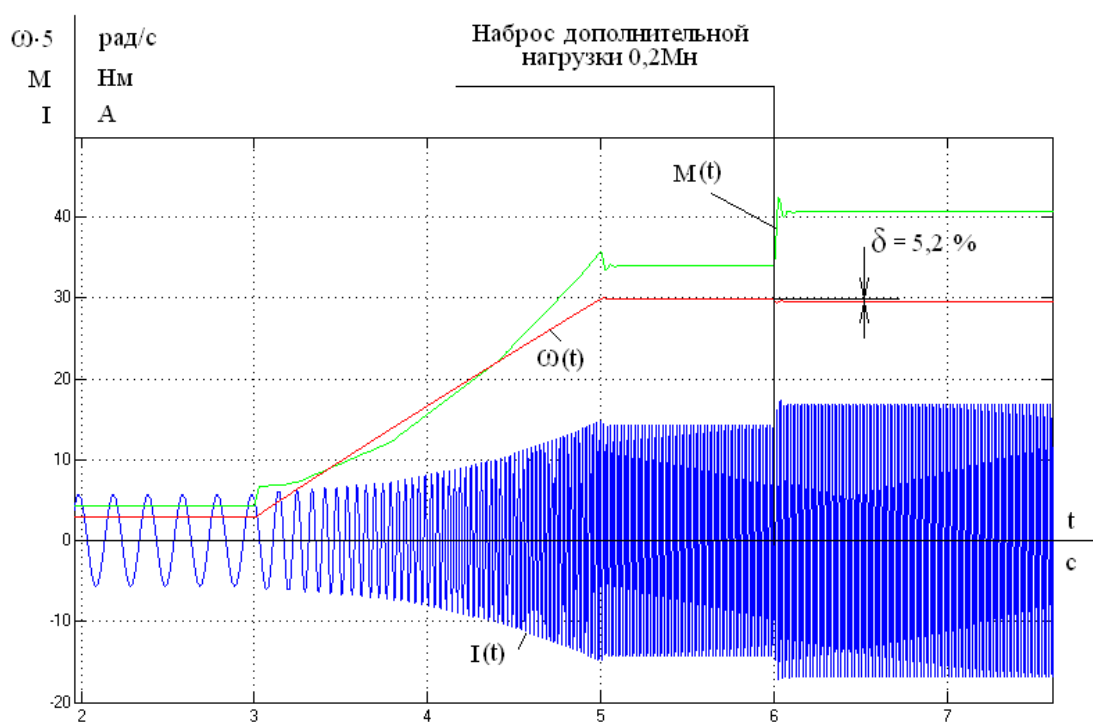


Рисунок 31 – Переход с минимальной частоты вращения на
 максимальную и наброс нагрузки

Переход электропривода с минимальной на максимальную частоту вращения аналогичен пуску АД на максимальную скорость.

График перехода с максимальной на минимальную частоту вращения отображен на рисунке 31.

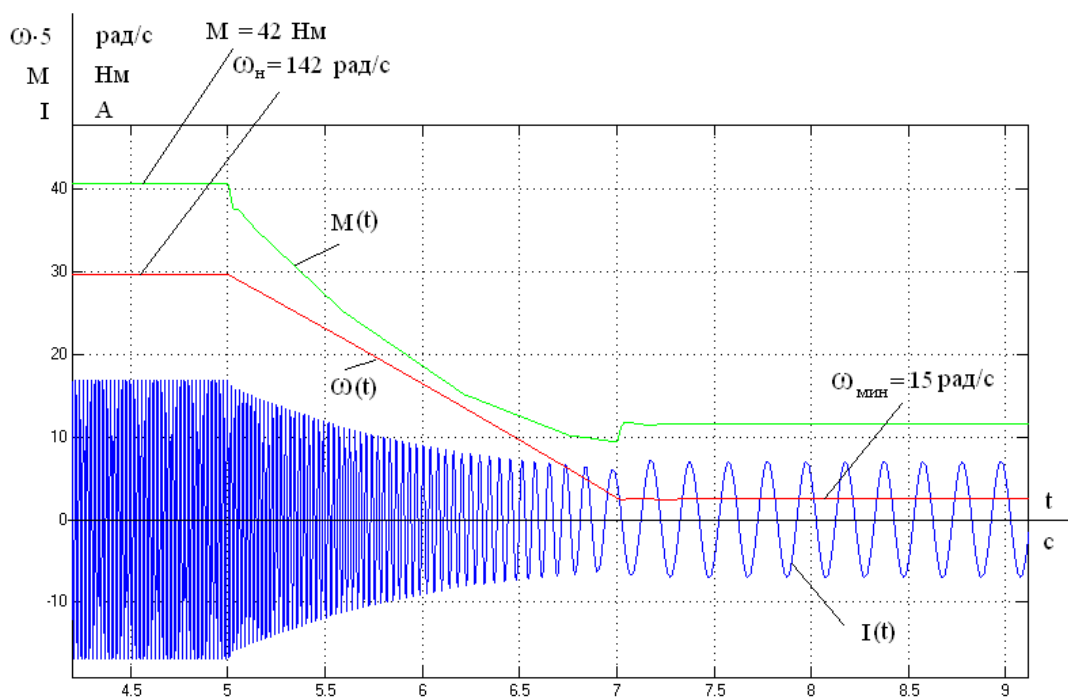


Рисунок 32 - Переход с максимальной частоты вращения на минимальную скорость и наброс нагрузки

Привод осуществляет переход с частоты вращения максимальной на минимальную за $t = 2$ с. Наброс нагрузки возникает в момент времени, равный $t = 7$ с. При этом частота вращения ЭП упадет с $\omega = 14,8$ рад/с до $\omega = 12,4$ рад/с, т.е. на $\delta = 19\%$.

Проанализировав полученные осциллограммы переходных процессов, можно сказать, что электропривод не удовлетворяет предъявляемым техническому заданию требованиям, так как точность поддержания частоты вращения низка, броски токов в некоторых моментах являются недопустимыми. Для устранения названных недостатков в схему вводятся обратные связи по моменту и по скольжению.

4.4 САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией по моменту и скольжению

4.4.1 Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией по моменту и скольжению

Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией по моменту и скольжению представлена на рисунке.

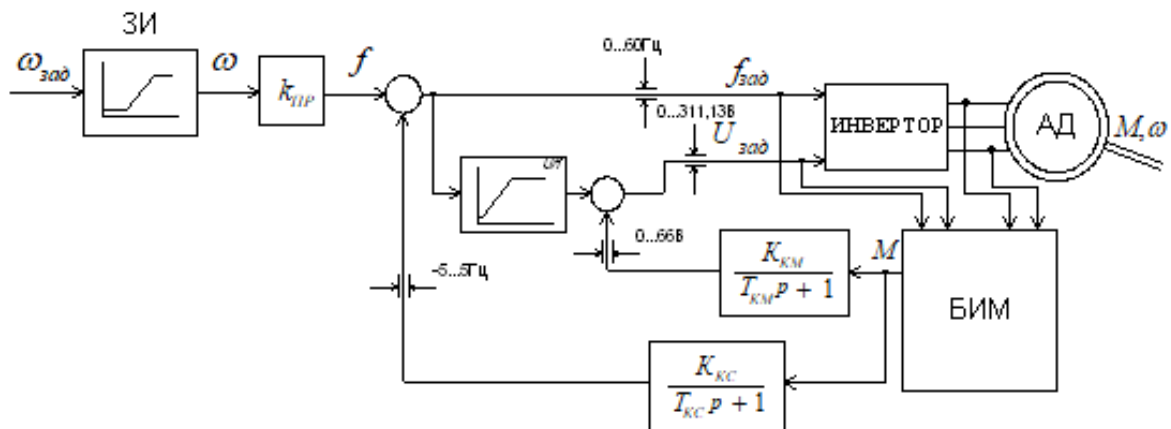


Рисунок 33 - Структурная схема САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения: ЗИ – задатчик интенсивности; $K_{\text{ПР}} = 2 \cdot \pi / 2$ – коэффициент преобразования; БИМ – блок идентификации момента; АД – асинхронный двигатель; У/ф – блок формирования вольт-частотной характеристики

В схеме имеются две обратные связи: компенсация по моменту и компенсация по скольжению.

4.4.2 Имитационная модель САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией по моменту и скольжению

По структурной схеме, изображенной на рисунке 33, составим имитационная модель САУ ЭП, представленную на рисунке 34.

Значения коэффициентов передачи компенсационных цепей из условия обеспечения устойчивости [9]:

$$K_{\kappa\sigma} = k_{\kappa\sigma}^* \cdot \frac{S_{\text{НОМ}}}{M_{\text{НОМ}}} = 0,5 \cdot \frac{5}{36,89} = 0,06782 - \text{компенсационный коэффициент}$$

скольжения при неполной компенсации ($k_{\kappa\sigma}^* = 0,5$);

$$K_{\kappa M} = k_{\kappa M}^* \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}}{M_{\text{НОМ}}} = 0,2 \cdot \frac{220}{36,89} = 1,1937 - \text{компенсационный коэффициент}$$

момента ($k_{\kappa M}^* = 0,2$).

Постоянные времени компенсационных цепей

$$T_{\kappa M} = T_{\kappa\sigma} = (3 \div 10) \cdot T_{\sigma} = 10 \cdot 0,006597 = 0,06597 \text{ с},$$

$$\text{где } T_{\sigma} = \frac{L_{\sigma}}{R_{\sigma}} = \frac{0,0133}{2,016} = 0,006597 \text{ с}.$$

Ограничения компенсационных цепей:

- по частоте – от -5 до 5 Гц;
- по напряжению – от 0 до 6 В.

Характеристика блока, формирующего нагрузку, рассчитана по следующей эмпирической формуле

$$M = 0,001344 \cdot \omega^2 - 3,7 \text{ или } \omega = \sqrt{\frac{M - 3,7}{0,001344}}.$$

Параметры блока формирования нагрузки отражены в таблице 16.

Таблица 16 – Параметры блока формирования нагрузки

ω , рад/с	0	31,1	68,47	110,1	139,9	157,068	170
M, Нм	3,7	5	10	20	30	36,86	42

Параметры задатчика интенсивности отражены в таблице 17.

Таблица 17 – Параметры задатчика интенсивности

t, с	0	0,1	0,1	1,0	3,0	5,0	7,0	9,0
ω , рад/с	0	0	15,7	15,7	157,068	157,068	15,7	15,7

4.4.3 Имитационная моделирование САУ ЭП при скалярном управлении с компенсацией момента и скольжения

По собранной имитационной модели САУ ЭП рассчитываются и строятся графики переходных процессов для 4-х основных режимов работы электропривода: пуск на частоту вращения; пуск на максимальную частоту вращения; переход с минимальной частоты вращения на максимальную; переход с максимальной частоты вращения на минимальную.

График переходного процесса при пуске на минимальную скорость отображен на рисунке 35.

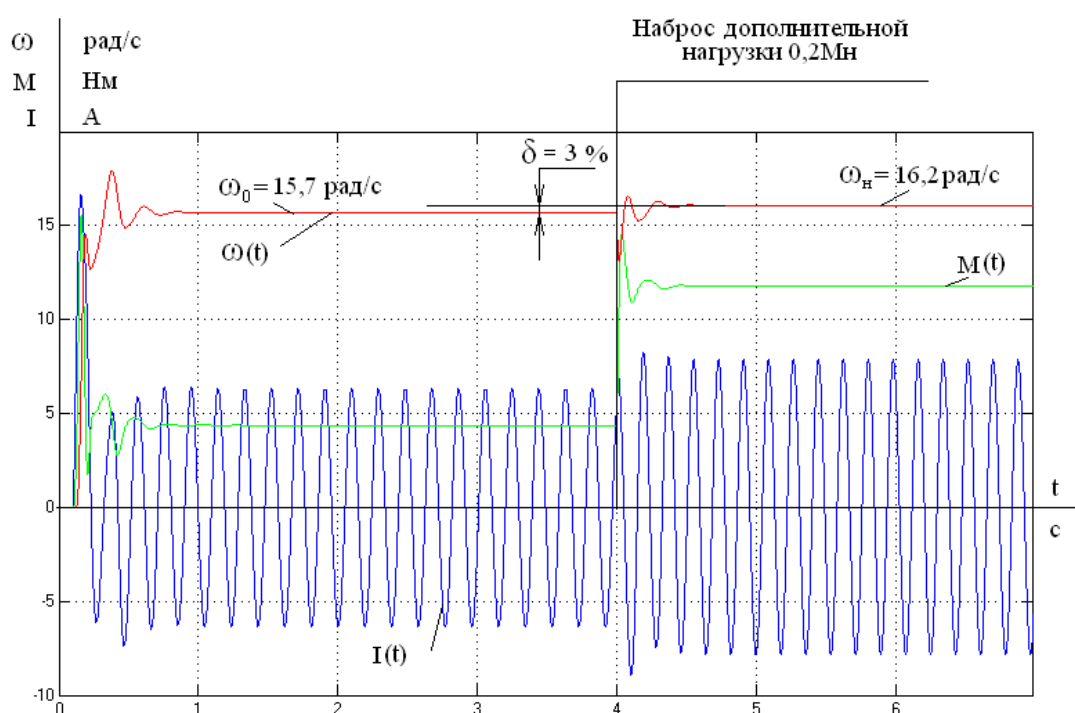


Рисунок 35 - Пуск на минимальную частоту вращения и наброс нагрузки при компенсации момента и скольжения

Из полученных осциллограмм видно, что при пуске электропривода под нагрузкой установившаяся частота вращения равна $\omega = 15,7$ рад/с, что равно синхронной частоте вращения, т.е. коэффициент компенсации момента выбран корректно. При набросе дополнительной нагрузки, равной $0,2 \cdot M_n$ скорость возрастает с $\omega = 15,7$ рад/с до $\omega = 16,2$ рад/с, однако погрешность $\delta = 3\%$, которая находится в допустимых пределах (10% по ТЗ).

График пуска на максимальную частоту вращения представлен на рисунке 36.

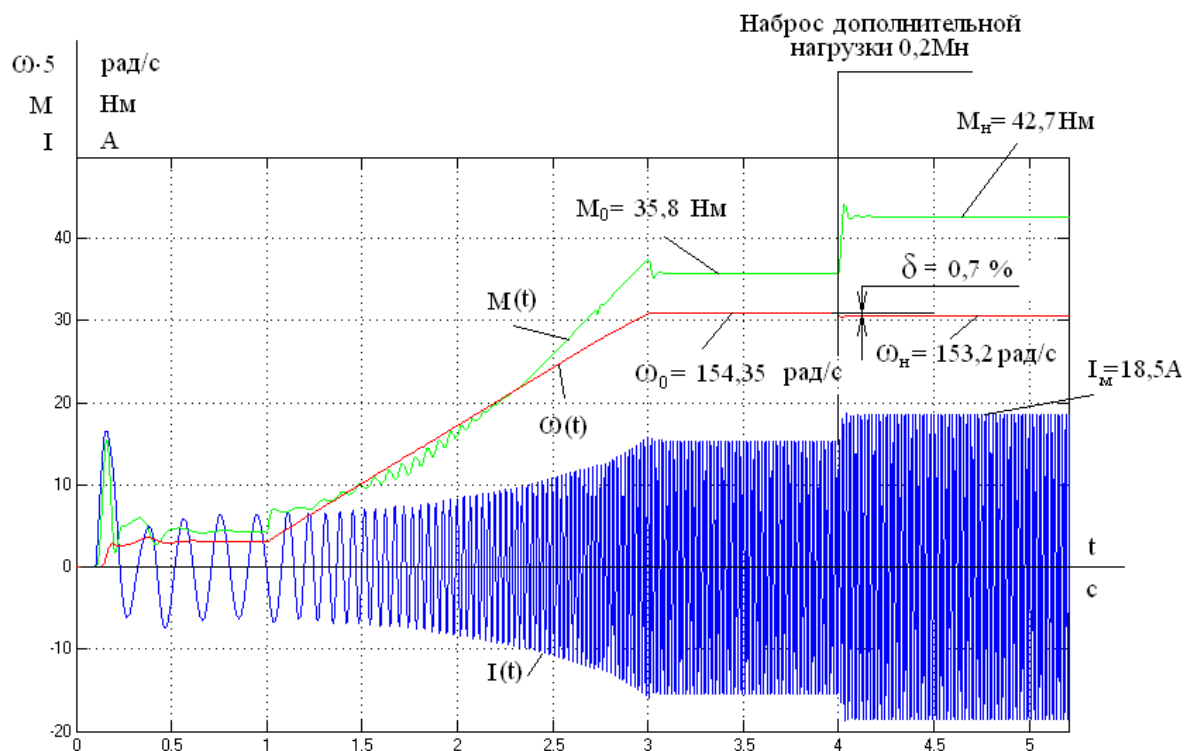


Рисунок 36 - Пуск на максимальную частоту вращения и наброс нагрузки при компенсации по моменту и скольжению

Погрешность поддержания частоты вращения составляет

$$\delta = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100\% = \frac{157,1 - 154,35}{157,1} \cdot 100\% = 1,7\%$$

при набросе дополнительной нагрузки равной $0,2 \cdot M_n$ погрешность составляет $\delta = 0,7\%$. Максимальное значение тока $I_{\text{макс}} = 18,5\text{A}$ не превышает допустимого тока ПЧ.

График перехода с минимальной частоты вращения на максимальную частоту вращения показан на рисунке 37. Переход электропривода с минимальной частоты вращения на максимальную частоту вращения с компенсацией по моменту и скольжению аналогичен пуску на максимальную скорость.

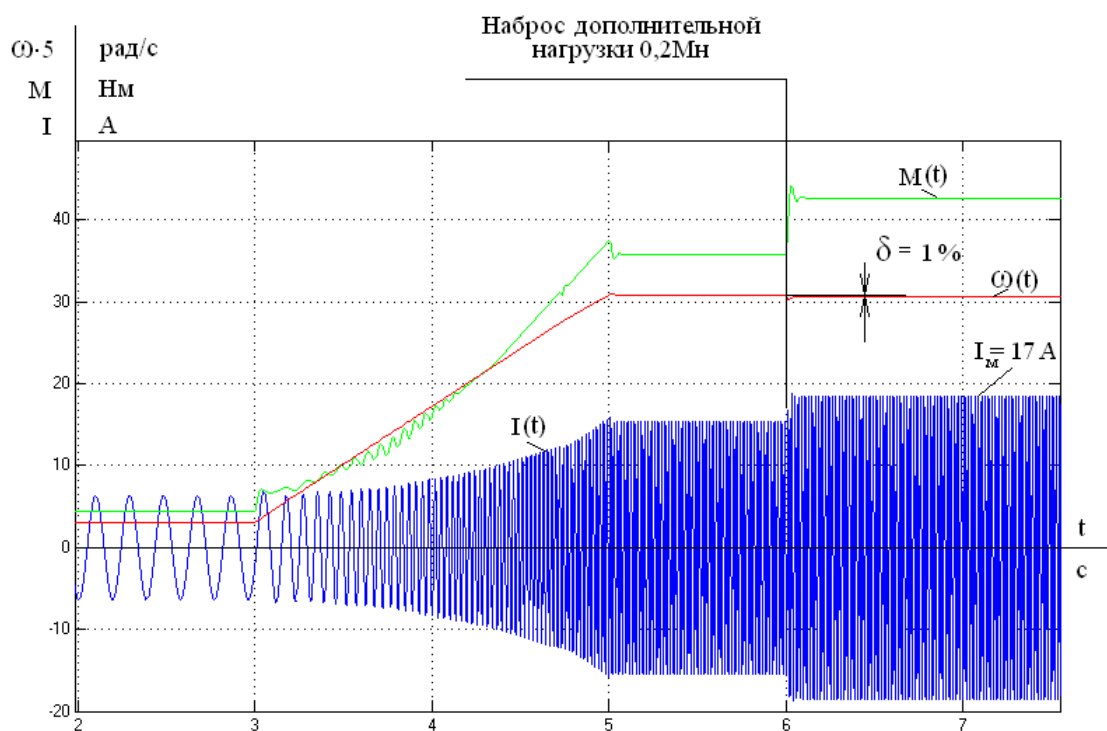


Рисунок 37 – Переход с минимальной частоты вращения на максимальную и наброс нагрузки с компенсацией по моменту и скольжению

График перехода с максимальной на минимальную частоту вращения показан на рисунке 38.

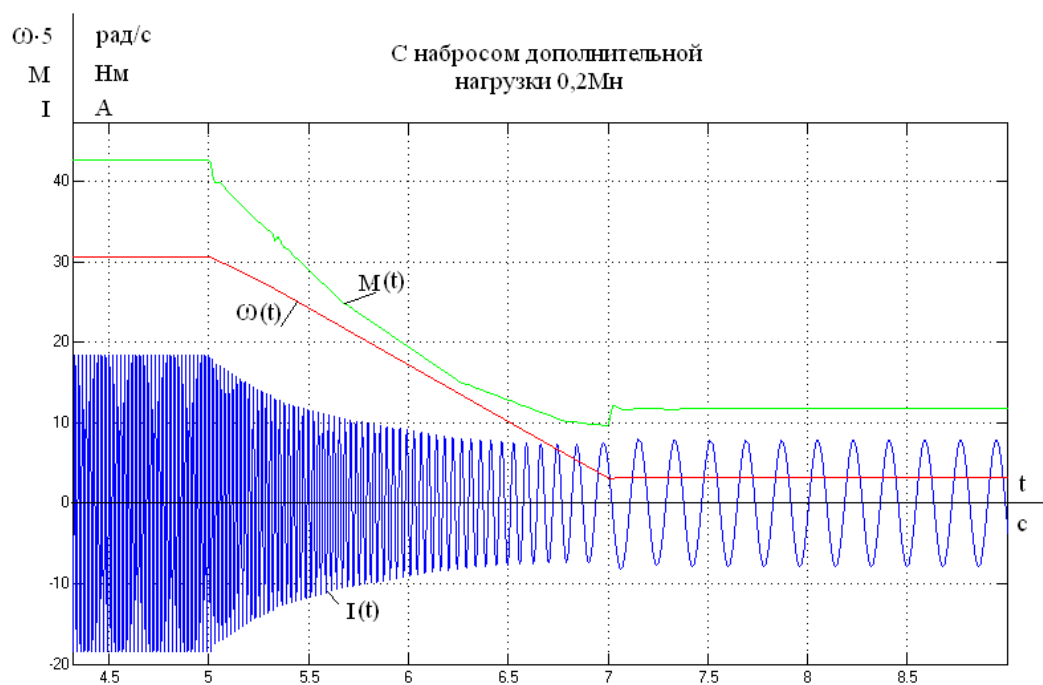


Рисунок 38 - График перехода с максимальной частоты вращения на минимальную с компенсацией по моменту и скольжению

ЭП осуществляет переход с максимальной частоты вращения на минимальную за $t = 2$ с, что определяется выбранной постоянной времени задатчика интенсивности. Компенсация по моменту и скольжению позволяет развить заданную скорость $\omega_0 = 15,7$ рад/с. При набросе дополнительной нагрузки $0,2 \cdot M_n$ в момент времени $t = 7$ с скорость возрастает с $\omega = 15,7$ рад/с до $\omega = 16,0$ рад/с, погрешность составляет $\delta = 2\%$.

Проанализировав полученные осциллограммы переходных процессов, можно сделать вывод, что спроектированный ЭП удовлетворяет предъявляемым заданным требованиям. Использование компенсации по моменту и скольжению позволяет обеспечить точность поддержания скорости не ниже 3%, . Задатчик интенсивности исключает высокую колебательность переходного процесса и обеспечивает заданный темп разгона и торможения двигателя.

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Поставленная цель достигается выполнением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа работы для частотно-регулируемого асинхронного электропривода дымососа для котлоагрегата КВ-1,86Г, производства Бийского котельного завода
- Планирование технико-конструкторских работ
- Определение ресурсосберегающей эффективности проекта.

5.1. SWOT-анализ работы для частотно-регулируемого асинхронного электропривода дымососа для котлоагрегата КВ-1,86Г, производства Бийского котельного завода

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта [15].

Применительно к проектируемому дымососу для котлоагрегата КВ-1,86Г, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы [14,15].

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 13.

Таблица 13 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии. С2. Простота конструкции С3. Большая экономия потребляемой эл. энергии. С4. Повышение безопасности производства С5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования	Слабые стороны проекта: Сл1. Постоянное потребление электроэнергии Сл2. Значительная стоимость оборудования Сл3. Обязательная необходимость источника тока рядом с местом работы
Возможности: В1. Повышение качества продукции В2. Повышение износостойкости деталей электропривода. В3. Автоматизация технологического процесса В4. Снижение затрат на техническом обслуживании	В1С1С2С3С4; В3С2С3; В2С1С4 В4С1С4	В3Сл2; В4Сл1; Сл3;Сл2.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии производства У2. Конкуренция технологии процесса У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Угрозы выхода из строя сложного рабочей детали	У1С5; У3С2С3; У4С2С4	У1Сл1Сл2Сл3; У2Сл1; У3Сл1Сл3; У4Сл1Сл3

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

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие) [15].

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 14 и 15, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 14 – Интерактивная матрица возможностей

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

Таблица 15 – Интерактивная матрица угроз

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

При разработке технического проекта системы электроснабжения предприятия инженер нацелен на проектирование с возможно большим внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированной системы электроснабжения, что немало важно для потребителей.

Несмотря на то, что для данного анализа сильных сторон больше, не исключен случай, когда какая-либо одна из слабых сторон окажется наиболее сильным фактором, негативно влияющим на работу системы электроснабжения, чем все вместе взятые сильные стороны. Для данного случая таким фактором может быть Сл2 - «Значительная стоимость оборудования». К примеру, К примеру, при любом проектировании электрооборудования простой конструкции требуется использование дорогостоящих составляющих в силу их предварительной проектировки. Но за счет появления новых возможностей, закупка такого оборудования становится целесообразной, так как их преимущества минимизируют влияние слабых сторон.

5.1.1. Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектируемому дымососа для котлоагрегата КВ-1,86Г.

5.1.2. Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено

распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 26:

№ 1 – составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 –Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – моделирование дымососа для котлоагрегата КВ-1,86

№ 4 – Проведение расчетов режимов работы – расчет электрических характеристик;

№ 5 – Проектирование схемы частотно-регулируемого асинхронного электропривода дымососа для котлоагрегата КВ-1,86Г

№ 6 Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности.

№ 7 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 8 Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником

№ 9 - Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации и проработка возможных вопросов, защита проекта.

Таблица 16 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка	1	Составление и утверждение	Научный

технического задания		технического задания	руководитель
Выбор направления технического проектирования установки	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Расчеты и проектирование анализ работы для частотно-регулируемого асинхронного электропривода дымососа для котлоагрегата КВ-1,86Г, производства Бийского котельного завода	3	Моделирование и анализ дымососа	Дипломник
	4	Расчет рабочих характеристик	Дипломник, научный руководитель
	5	Проектирование схемы дымососа	Дипломник, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	7	Составление пояснительной записки	Дипломник
	8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	9	Подготовка к защите ВКР	Дипломник, Научный руководитель

5.1.3.Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула [14]:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макси}}{5}, \quad (84)$$

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

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

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

В таблице 17 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 17 – Продолжительность работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни						Длительность работ в рабочих днях	
		$t_{\min}$,		$t_{\max}$,		$t_{ожсi}$,			
		Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	4		2,8	-	3
3	Моделирование и анализ дымососа	-	26	-	34	-	29	-	30
4	Расчет рабочих характеристик	1	25	1	32	1	27,8	1	28
5	Проектирование схемы дымососа	1	30	1	34	1	31	1	32
6	Оценка эффективности полученных результатов	1	3	1	7	1	4,6	1	5
7	Составление пояснительной записки	-	7	-	14	-	9,8	-	10
8	Проверка выпускной квалифицированной работы руководителем	2	-	3	-	2,4	-	3	-
9	Сдача и защита выпускной квалифицированной работы	1	2	3	4	1,4	2,8	2	3
Примечание: минимальное $t_{\min}$ и максимальное время $t_{\max}$ получены на основе экспертных оценок.									

5.1.4. Разработка графика проведения технического проекта

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

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [15].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР [15]. На основе таблицы 17 строим план-график проведения работ (таблица 18).

Таблица 18 – План график выполнения работ

№	Вид работ	Исп-ли	T_{pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	—												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	3	—												
3	Моделирование и анализ дымососа	Дипломник	30		—											
4	Расчет рабочих характеристик	Руководитель	1				—									
		Дипломник	28				—									
5	Проектирование схемы электрического подключения	Руководитель	1							—						
		Дипломник	32							—						
6	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1											—		
		Дипломник	5											—		
7	Составление пояснительной записки	Дипломник	10												—	
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Руководитель	3												—	
9	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	2												—	
		Дипломник	3												—	

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 13 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 115 дня. Из них:

111 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

9 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

5.2. Составление сметы затрат на разработку ТП

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [5]. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- материальные затраты ТП;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются, так как расходные материалы для проектирования данного проекта (канцелярские принадлежности, бумага, картриджи и т.д.) отнесены в накладные расходы.

5.2.1. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

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

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле :

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}},$$

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

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

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 19.

Таблица 19 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Заработная плата по тарифной ставке, руб.	Районная доплата, руб.	Месячный должностной оклад, руб.	Дневной должностной оклад, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	33664	10099,2	43763,2	1683,2	9	15150
Инженер	12300	3690	15990	615	94	57810
Итого, руб.						72960

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	15150	2270	17400
Инженер	0,12	57810	6937	64700
Итого, руб.		72960	9207	82100

5.2.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2019г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 82,1 = 24,8 \text{ тыс. руб.}$$

5.2.4. 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, размножение материалов и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

5.3 Формирование сметы затрат технического проекта

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

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат%
1. Затраты по полной заработной плате исполнителей проекта	82,1	64,5
2. Отчисления во внебюджетные фонды	24,8	19,5
3. Накладные расходы	20,1	16,0
4. Итого	127,0	100,0

Таким образом была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 115 раб. дней. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 127 тыс.руб, из которых основная часть (84 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

5.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [14]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (86)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Экономичность: оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. Гибкость: возможность частых перестроек технологии производства и развития предприятия.

3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;

4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97.

5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии.

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве [3].

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 22.

Таблица 22 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Экономичность	0,15	4
2. Гибкость	0,10	4
3. Безопасность	0,15	5
4. Обеспечение надлежащего уровня производительности	0,20	5
5. Надежность	0,20	5
6. Простота и удобство в эксплуатации	0,05	5

7.Энергоэффективность	0,15	4
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит [15]:

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,05 + \\ + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 4,6$$

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

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

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства ферросплавного завода путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации и производства ферросплавов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был разработан и смоделирован частотно-регулируемый электропривод дымососа котлоагрегата КВ–1,86Г.

В ходе выполнения данной работы произведен расчет параметров электродвигателя дымососа, были выбраны следующие преобразователи: преобразователь частоты, измерительный преобразователь давления, преобразователь интерфейса. Были разработаны функциональная и структурная схемы системы автоматического регулирования электропривода. В программной вычислительной среде MathCad рассчитаны и построены статические механические и электромеханические характеристики системы ПЧ-АД. Для исследования переходных процессов в программе имитационного моделирования Simulink пакета MatLab были созданы имитационные модели САУ ЭП дымососа при скалярном управлении и получены графики переходных процессов электропривода в основных режимах работы.

По результатам расчета статических характеристик и анализу переходных процессов, достаточно использовать скалярное управление преобразователем при законе регулирования $U/f = \text{const}$ с компенсацией по моменту и скольжению для обеспечения качественных показателей электропривода, которые соответствуют требованиям технологического процесса. При таком управлении обеспечивается диапазон регулирования 1:10, а также необходимая точность поддержания скорости не ниже 3%, что соответствует техническому заданию.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проведен SWOT-анализ работы для частотно-регулируемого асинхронного электропривода дымососа для котлоагрегата КВ-1,86Г, производства Бийского котельного завода, по которому были определены сильные и слабые стороны проекта. Также был составлен план-

график занятости исполнителей технико-конструкторских работ. Заключительным этапом данного раздела является определение ресурсосберегающей эффективности проекта.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены опасные и вредные факторы, влияющие на жизнь и здоровье людей. Была рассмотрена безопасность труда персонала, работающего с электрооборудованием, предусмотрены меры обеспечивающие защиту персонала от вредных факторов производства, а также способы снижающие влияние загрязняющих веществ на окружающую среду.