

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Система автоматической подачи топлива и воздуха твердотопливного котла

УДК 621.182.2-66:621.1.016.1-047.64

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗА	Скобелев Егор Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин А.А.	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Е.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Король И.С.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, К.Т.Н.		

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

Институт Энергетический
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра Электропривода и электрооборудования

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

ЗАДАНИЕ

На выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗА	Скобелев Егор Игоревич

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин А.А.	д.т.н.		

Тема работы:

Система автоматической подачи топлива и воздуха твердотопливного котла	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является система автоматической подачи воздуха твердотопливного котла с применением частотно-регулируемого электропривода подачи воздуха в котел и управляемого привода шнека для подачи топлива.
Перечень вопросов подлежащих исследованию, проектированию и разработке	Основной вопрос, который рассматривается в данной работе Разработка функциональной схемы системы управления, выбор исполнительного и измерительного оборудования системы вентиляции, программируемого логического контроллера, которые смогут обеспечить необходимую функциональность К дополнительным вопросам относятся раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в котором производится технико-экономическое обоснование исследовательской работы, а также раздел «Социальная ответственность», в

	котором рассматриваются проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Е.А.
Социальная ответственность	Король И.С.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин А.А.	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗА	Скобелев Егор Игоревич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗА	Скобелев Егор Игоревич

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

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	-Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта составляет 200-250 тысяч рублей -В реализации проекта задействованы 2 человека руководитель проекта, студент-дипломник
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	-Данная НИР новая, следовательно нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют -Минимальный размер оплаты труда (на 2017 год) составляет 8581 руб
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Согласно п.3 п.п.16 ст. 149 НК РФ данная НИР не подлежит налогообложению -Отчисления во внебюджетные фонды – 27,1 % от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследовательской работы</i>	-Потенциальные потребители результатов исследования - SWOT-анализ
<i>2. Планирование процесса управления НИР: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	-Планирование работ по научно-техническому исследованию; -Смета затрат на разработку исследования
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	-Сравнительная эффективность разработки

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT	
2. Диаграмма Ганта	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е. А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗА	Скобелев Е. И.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗА	Скобелев Егор Игоревич

Институт	Энергетический	Кафедра	Электропривод и электрооборудование
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электропривод и автоматика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<p>Объект исследования: частотно-регулируемый электропривод подачи воздуха в котел, управляемый электропривод шнека для подачи топлива и автоматический программируемый контроллер. Рабочая зона: закрытое помещение (цех). Область применения: отопительные системы.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p>	<p>Выявленные вредные факторы производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – запыленность (ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ до 10 мг/м³ нетоксичных примесей), используются средства индивидуальной защиты (респираторы); – повышенная температура воздуха рабочей зоны; (СанПиН 2.2.4.548-96) – повышенный уровень шума на рабочем месте (эквивалентный уровень звука не должен превышать допустимые 80 дБА СН 2.2.4/2.1.8.562-96). – отсутствие естественного света в ночное время (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03);

<p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p>	<p>Выявленные опасные факторы производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – поражение электрическим током; (ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ), необходимо использовать средства защиты предназначенные для работ на электроустановках до 1000 В (резиновые галоши, коврики, изоляция инструмента), проведено заземление (ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ) – пожар в рабочем помещении (ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ), предусмотрены средства индивидуальной защиты (противопожарное полотно, защитные капюшоны и накидки)
<p>2. Экологическая безопасность</p>	<p>Использование твердотопливного котла не представляет угрозу для окружающей среды.</p> <p>для каждого источника загрязнения атмосферы устанавливается предельно допустимый выброс вредных веществ (ГОСТ 17.23.02–78).</p> <p>При выработке ресурса двигатель подлежит утилизации (ГОСТ Р 55756-2013).</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.</p>	<p>Наиболее вероятной ЧС являются пожар или взрыв на рабочем месте вследствие:</p> <ul style="list-style-type: none"> – нарушения технологического процесса и неисправности оборудования; – неосторожного обращения с огнем и электроприборами; – короткого замыкания электрических проводов и перегрева электрооборудования; – нарушения правил пожарной безопасности при производстве электрогазосварочных и других огневых работ. <p>Обоснованы мероприятия по предотвращению ЧС и разработан порядок действий в случае возникновения ЧС (ППБ 01-93* «Правила пожарной безопасности в Российской Федерации»).</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</p>	<p>Классификация и обучение работающих безопасности труда. ГОСТ 12.0.001-82; ГОСТ 23000-78. Система «человек-</p>

	машина». Пульты управления. Общие эргономические требования;
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Король Ирина Степановна	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г3А	Скобелев Егор Игоревич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа бакалавра содержит 74 страницы, 23 рисунков, 14 таблиц, 13 источников.

Ключевые слова: АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ШНЕКОВЫЙ ПИТАТЕЛЬ, ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР, ТВЕРДОТОПЛИВНЫЙ КОТЕЛ.

Объектом проектирования является система автоматической подачи топлива и воздуха для твердотопливного котла DEFRO КОМПАКТ МАХ 200.

Целью дипломной работы является расчет системы автоматической подачи топлива и воздуха твердотопливного котла с применением частотно-регулируемого электропривода подачи воздуха в котел и управляемого привода шнека для подачи топлива.

В ходе проектирования проведен анализ технологического процесса, разработана система автоматического управления и модель электропривода, рассмотрены вопросы автоматизации установки и охраны труда, выполнено технико-экономическое обоснование проекта.

В результате проектирования был разработан автоматизированный регулируемый электропривод с преобразователем частоты со скалярным управлением. Произведен расчет и выбор асинхронного электродвигателя типа АИР63В2 с номинальной мощностью 0,55 кВт. Выбран преобразователь частоты Siemens 6SE70 7016.

Для расчета параметров электродвигателя и для построения имитационных моделей использовались программы MathCAD 14 и Matlab SIMULINK 2016.

Выпускная квалификационная работа бакалавра выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

Оглавление

Введение.....	11
1. Теоретическая часть.....	13
1.1. Описание промышленной установки.....	13
1.2. Анализ системы подачи топлива.....	16
1.3. Анализ системы подачи воздуха.....	17
1.4. Анализ автоматики контроля и безопасности.....	20
2. Практическая часть.....	22
2.1. Выбор вентилятора.....	22
2.3. Выбор электродвигателя.....	22
2.4. Расчет естественной механической характеристики.....	27
2.5. Расчет естественной электромеханической характеристики.....	27
2.6. Выбор преобразователя частоты.....	28
2.7. Выбор несущей частоты инвертора.....	29
2.8. Определение интервала частот инвертора.....	30
2.9. Искусственные статические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$	31
2.10. Моделирование скалярной системы управления.....	34
2.11. Программируемый логический контроллер.....	42
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	44
3.2 SWOT-анализ.....	45
3.3. Технология QuaD.....	48

3.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	49
3.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	49
3.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ	50
3.5.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	53
3.5.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	53
3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	56
4. Социальная ответственность	59
4.1. Производственная безопасность	59
4.1.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	59
4.1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	62
4.2. Экологическая безопасность.....	65
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	66
4.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	66
4.3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	67
4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	70
Заключение	72
Список использованных источников	73

Введение

В настоящее время значимость использования автоматических котлов на твердом топливе становится все более актуальной. Частные дома, складские помещения, малые промышленные комплексы не всегда имеют возможность подключения к системе центрального теплоснабжения. Использование автономной выработки тепловой энергии на твердом топливе является идеальным выбором.

Использование автоматического регулирования и поддержания температуры позволяет регулировать интенсивность работы котла, расход топлива. Тем самым при использовании качественного топлива котел способен поддерживать высокий показатель КПД около 85%. Имеется возможность настраивать работу под температуру воздуха на улице, в помещении, а также под температуру теплоносителя. Для этого применяются специальные внешние датчики температуры.

Целью дипломной работы является расчет системы автоматической подачи топлива и воздуха твердотопливного котла с применением частотно-регулируемого электропривода подачи воздуха в котел и управляемого привода шнека для подачи топлива. Разработка функциональной и принципиальной схемы системы управления, выбор исполнительного и измерительного оборудования системы вентиляции, программируемого логического контроллера, которые смогут обеспечить необходимую функциональность.

Актуальность темы дипломной работы определяется использованием системы автоматической подачи топлива и поддержания заданной температуры теплоносителя или температуры отапливаемого помещения. Для поддержания температуры без данной системы, человеку необходимо производить подачу топлива каждые 3-4 часа, при этом необходимо регулировать уровень подачи воздуха. Система автоматической подачи топлива и воздуха, с применением программируемого логического контроллера способна поддерживать заданную

температуру и высокий КПД котла несколько суток подряд. При этом загрузка топлива и выставление необходимой температуры производится один раз.

1. Теоретическая часть

1.1. Описание промышленной установки

Использование твердотопливных котлов средней мощности предназначено для автономного водяного отопления частных домов, зданий социально-культурного (детские сады, школы, больницы) и промышленного назначения (цеха, складские и гаражные комплексы) площадью 500–8 000 м². Так же, могут применяться в качестве источника горячей воды до 90° С.

Для расчетов системы автоматикой подачи топлива и воздуха был выбран аналог, автоматизированный твердотопливный котел марки DEFRO КОМПАКТ МАХ 200kW. Внешний вид котла изображен на Рисунок – 1.



Рисунок 1 – Твердотопливный котел DEFRO КОМПАКТ МАХ 200kW

Представленный котел имеет следующие параметры:

- Номинальная мощность 200 кВт;
- КПД – 85%;
- Температура теплоносителя 90 °С;

- Объем бункера 590 л;
- Рабочее давление 3 кг/см²;
- Диаметр дымохода 220 мм;
- Потребляемая мощность 400 Вт;
- Габариты 1950-2100-1480 мм;
- Вес котла 1400 кг.

Твердотопливный котел использует принцип сжигания содержимого топки не снизу вверх, когда проникающие вверх горячие газы захватывают все новые слои топлива, а сверху вниз. В таком случае сгорание топлива происходит медленнее, при большем выделении тепла.

Перед подачей в зону пламени, воздух нагревается и во время работы подается точно к очагу высокой температуры, не достигая нижних слоев. По мере сгорания слоя зона огня перемещается вниз. Подогретый воздух обеспечивает наиболее полное сжигание горючих материалов, с минимальными остатками золы и сажи. Котлы длительного горения работают на дровах, угле, торфе, опилках, пеллетах.

Теплообменник имеет три пять последовательно расположенных ходов, что обеспечивает эффективный отбор тепла у дымовых газов. Температура выходящих газов в теплообменнике составляет 80–110°C, за счет малого расхода тепла котел имеет высокий КПД. Отбор тепла в топке происходит на водоохлаждаемых поверхностях горелки, шнека и корпуса котла

К достоинствам данного котла отнесем то, что топливо в нем сгорает абсолютно, почти без остатка. Особенности процесса позволяет практически полностью автоматизировать работу котла. Участие человека в автоматических котлах сводится к заданию температуры, закладке топлива в бункер и периодической его чистке зольника.

Отрицательным моментом является энергозависимость данной системы: при отключении электричества, система автоматической подачи топлива и

воздуха прекращает работу — тепло прекращает вырабатываться. Чтобы решить эту проблему и дополнительно защитить автоматику от перепадов напряжения, можно установить источник бесперебойного питания. В комплекте с аккумуляторными батареями он даст несколько часов работы после пропадания электропитания.

Основные элементы системы автоматического котла изображены на рисунке 2:

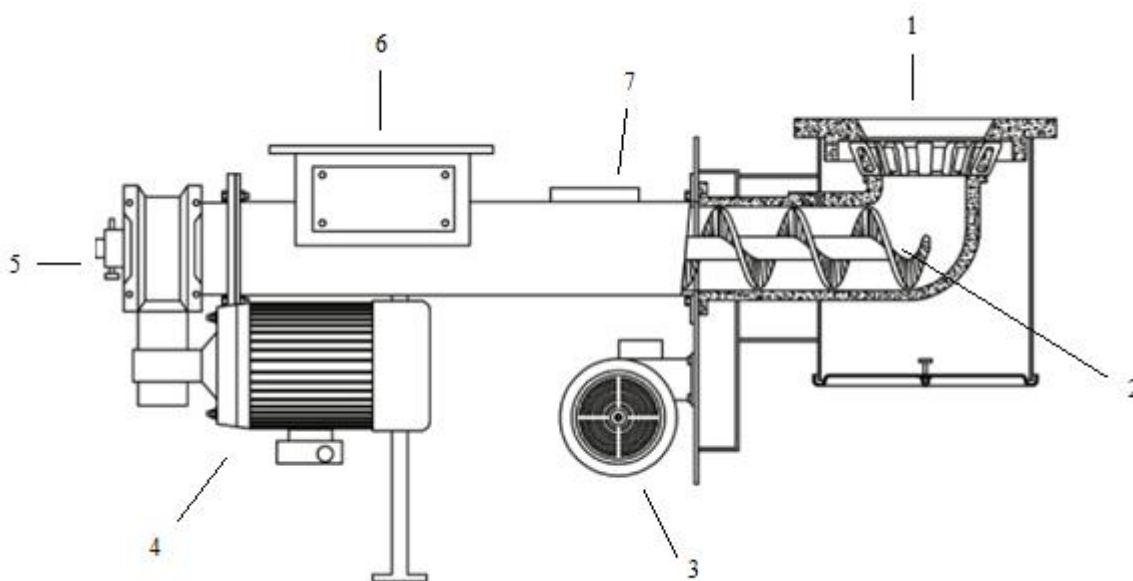


Рисунок 2 – Твeрдотопливный котел DEFRO КОМПАКТ МАХ 200kW

1. Автоматическая ретортная горелка
2. Шнековый транспортер
3. Надувной вентилятор
4. Электродвигатель
5. Понижающий редуктор
6. Топливный бункер
7. Датчик температуры
8. Датчик давления
9. Программируемый логический контроллер

1.2. Анализ системы подачи топлива

Для подачи топлива в горелку используется шнековый транспортер, который при помощи мотор-редуктора и вычислений контроллера должен обеспечивать точное дозирование топлива.

Шнек выполнен в виде металлического прута с наваренной на него полосы скрученной в виде винта, что является неразъемной конструкцией. Шнек выполнен из высококачественной легированной стали обладающей достаточной прочностью и гибкостью для продолжительной работы.

Принцип работы шнека автоматического котла заключается в подаче топлива для горения, через трубу, которая идет от топливного бункера на горелку. При повороте шнека происходит захват топлива со стороны бункера и продвижение его на горелку. Поворот происходит за счет редуктора подачи. Размер захватываемого топлива в котле не должен превышать 25 мм в одной плоскости.

Скорость вращения шнека всегда постоянная, регулировка объема подачи топлива регулируется включением выключением электродвигателя подачи в релейном режиме. С применением программируемого логического контроллера возможно обеспечить точную подачу необходимого объема топлива на горелку. На рисунке 2 (а) приведен пример превышения времени подачи топлива.

Включение шнека длится 10 секунд. Интервал между подачами 1-120 секунд, что может устанавливаться пользователем на контроллере. Изменение интервала подачи позволяет отрегулировать точную подачу топлива на горелку. Правильно отрегулированная подача топлива поддерживает постоянный объем топлива на горелке все время. Примерно 10-30 мм над горелкой, как представлено на рисунке 1 (б).

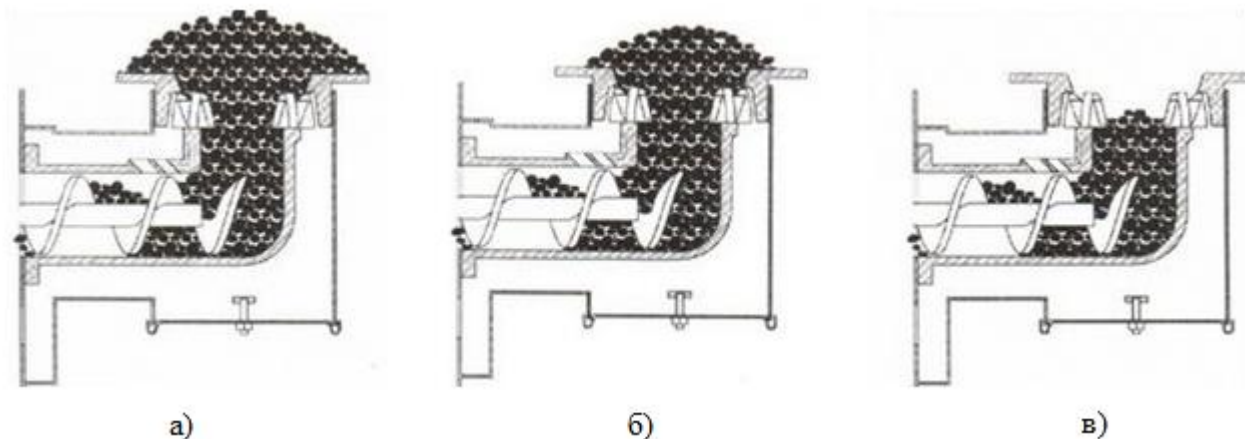


Рисунок – 3 Подача топлива в горелку

Топливо следует подсыпать периодически, наполняя всю емкость бункера. После заполнения емкости, ее следует плотно закрыть. Установка параметров слишком малой подачи топлива и слишком большого количества воздуха приведет к выжиганию топлива в топке и отступлению огня ниже форсунки до колена, подающего топлива рисунок 2 (в). Это является причиной повреждения форсунки, на которую не распространяется гарантия.

Удаление золы производится в зависимости от качества используемого топлива, через различные промежутки времени, но достаточно часто, чтобы пепел не закрывал верхней части горелки. Чаще всего делаем это одновременно с подсыпкой топлива.

В корпус шнека рекомендуется устанавливать температурный датчик, который оповестит контроллер о превышении допустимой температуры и включится режим защиты и непрерывного выброса топлива в камеру горения в течение нескольких минут. Данное решение предотвращает возгорание топлива в бункере.

1.3. Анализ системы подачи воздуха

Функционирование нагнетателя воздуха для твердотопливного котла происходит по следующему принципу. При снижении температуры горения топлива ниже значения, установленного на ПЛК, происходит автоматическое снижение или отключение подачи воздуха. Подавая воздух в камеру сгорания,

вентилятор способствует росту температуры горения и выходу котла на оптимальный режим работы. Использование нагнетателя позволит компенсировать отсутствие тяги в дымоходе, при изменении погодных условий. Искусственная вентиляция позволит топливу эффективно сгорать при любых условиях.

Конструкционные детали нагнетателей WPA производят из алюминиевых сплавов, что обеспечивает им небольшой вес и простоту монтажа. В работе нагнетательного вентилятора практически отсутствует шум. Лопастей устройства защищаются от попадания различных предметов с помощью предохранительной решетки. Эксплуатация нагнетательных вентиляторов WPA серий может происходить в широком температурном диапазоне, включительно по +40С.

При выборе вентилятора для твердотопливного котла необходимо убедиться, что в нем предусмотрен регулируемый обратный клапан, который исключает засасывание воздуха в топку при неработающем вентиляторе в случае сильной тяги в дымоходе.

В воздуходушных установках основные потери энергии обусловлены несоответствием режимов работы воздуходушных машин режимам работы потребителей, которые определяются изменением температурного режима зданий, сезонными погодными условиями, потребностями производства в воздухе. Кроме того, потери энергии обусловлены несовершенством элементов, соединяющих воздуходушные агрегаты с воздухоотводами[1].

Структурная схема автоматической системы управления твердотопливного котла изображена на рисунке 4.

Для регулирования интенсивности подачи воздуха в горелку с вентилятором подключается преобразователь частоты. Эффективное регулирование скорости асинхронного двигателя возможно лишь при наличии источника питания с регулируемой частотой. Причем при регулировании

частоты питающего напряжения, подводимого к статору. Для реализации этих требований необходимо осуществлять питание двигателя от управляемого преобразователя частоты.

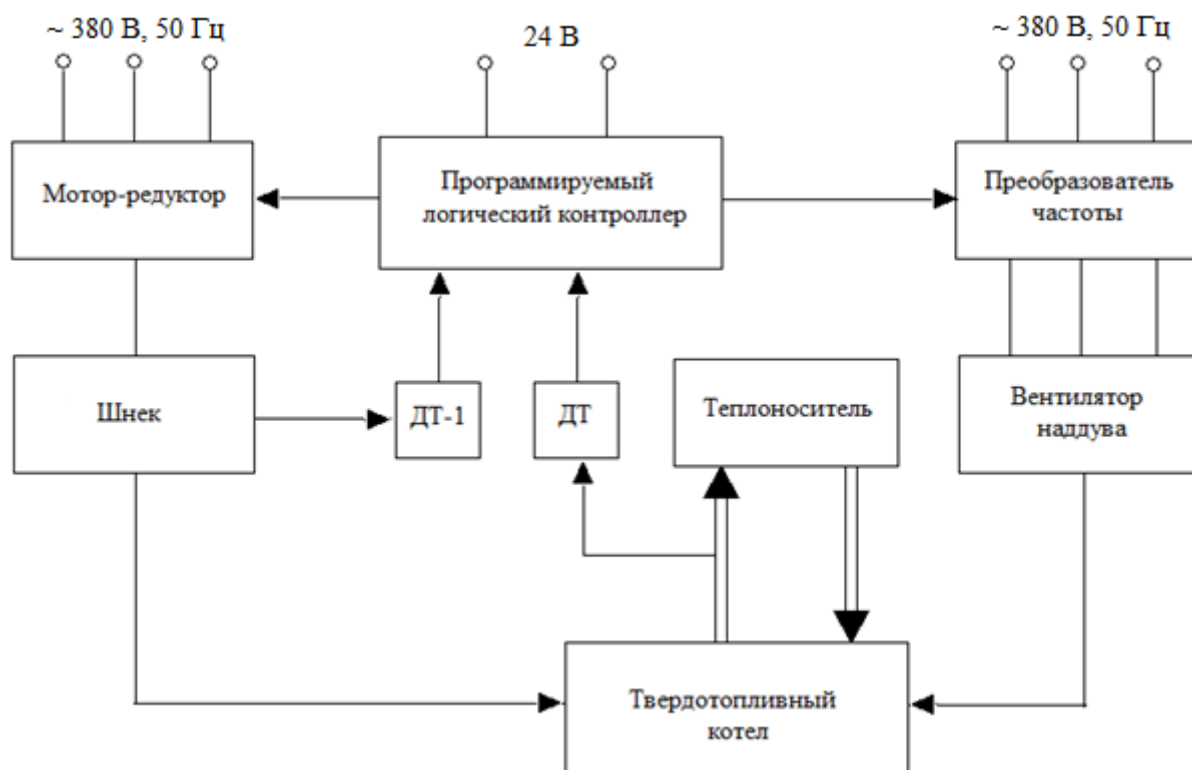


Рисунок 4 – Структурная схема автоматической системы управления твердотопливного котла

Частотный преобразователь обеспечит полную электронную защиту преобразователя и двигателя от перегрузок по току, перегрева, утечки на землю и обрыва линий передачи. Преобразователь позволит отслеживать и отображать на цифровом пульте основные параметры системы: заданную скорость, выходную частоту, ток и напряжение двигателя, выходную мощность и момент, состояние дискретных входов, общее время работы преобразователя и т. д.

При использовании частотного преобразователя экономить на непроизводительных затратах энергии, кроме того он имеет функцию энергосбережения. Эта функция позволяет при выполнении той же работы

экономить еще от 5 до 30 % электроэнергии путем поддержания электродвигателя в режиме оптимального КПД.

В режиме энергосбережения преобразователь автоматически отслеживает потребление тока, рассчитывает нагрузку и снижает выходное напряжение. Таким образом, снижаются потери в обмотках двигателя и увеличивается его КПД. Режим энергосбережения хорошо подходит для следующих задач:

- управление скоростью вращения вентиляторов и насосов;
- управление оборудованием с переменной нагрузкой;
- управление машинами, которые большую часть времени работают с малой нагрузкой.

При выборе комплектного преобразователя необходимо учитывать достаточность частотного управления, скалярное управление дешевле, чем ПЧ с векторным управлением.

1.4. Анализ автоматики контроля и безопасности

Микропроцессорная автоматика контролирует режимы работы котла и обеспечивает его безопасное гашение при авариях, сбоях электроснабжения и при достижении предельных значений параметров. При проектировании автоматической системы твердотопливного котла рекомендуется использовать следующие аварийные датчики:

– Основной и резервный датчики температуры теплоносителя. При достижении 95° С прекращается подача угля и воздуха.

– Датчики температуры шнека и бункера регистрируют возгорание угля в бункере и в шнековой трубе. При наличии источника бесперебойного питания (ИБП) механизм подачи автоматически сбрасывает загоревшийся уголь в горелку.

- Датчик вращения шнека. При заклинивании шнека контроллер реверсирует механизм подачи угля и устраняет аварию.
- Датчики давления и протока воды следят за наличием давления и циркуляции теплоносителя в системе.
- Датчики тока двигателей дымососа и вентилятора поддува выявляют неисправность этих механизмов;
- Датчик наличия электропитания. При подключенном ИБП контроллер в течение 6–8 часов периодически включает циркуляционные насосы. Это устраняет закипание воды в котле, а также исключает замерзание котла и теплотрассы. В базовую комплектацию котла входит также группа безопасности, включающая в себя набор КИП и предохранительный клапан.

2. Практическая часть

2.1. Выбор вентилятора

Использование воздуходувных машин за пределами рабочей зоны в значительной мере ухудшает их КПД и в ряде случаев это связано с переходом в недоступный режим работы.

Для обеспечения экономичных и безопасных режимов работ воздушных установок, прежде всего, необходимо правильно выбрать состав оборудования, определить наиболее экономичные сочетания совместно работающих разнотипных воздуходувных машин, устранить несоответствия параметров воздушной установки и сети.

Для котла с автоматической подачей топлива и мощностью 200 кВт выбираем нагнетающий вентилятор Elektrog S-LP 160/62, который имеет следующие параметры:

- номинальная скорость вращения 2840 об/мин;
- номинальная производительность 22,5 м³/мин;
- номинальное давление 850 Па.
- номинальный КПД 83 %;

Выражение для механической характеристики вентилятора имеет следующий вид:

$$M_c(\omega) = M_{c.\text{мин}} + M_{c.\text{макс}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{эп.макс}}} \right)^2.$$

2.3. Выбор электродвигателя

Номинальная мощность приводного двигателя должна быть равна или несколько больше мощности на валу вентилятора во всех его возможных технологических режимах работы.

В качестве двигателя для вентилятора Elektrog S-LP 160/62 используется асинхронный короткозамкнутый двигатель типа АИР63В2 номинальная

мощность которого равна 0,55 кВт. Основные параметры электродвигателя АИР63В2 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики электродвигателя АИР63В2.

Тип двигателя	P _н , кВт	U _{1н} , В	n _о , об/мин	При номинальной нагрузке			s _к , %	J _{дв} , кг·м ²
				s _н , %	cos φ _н	η _н , %		
АИР63В2	0,55	380	3000	9	0,85	75		0,0009

Продолжение таблицы 1

$m_{п} = \frac{M_{пуск}}{M_{н}}$	$m_{к} = \frac{M_{макс}}{M_{н}}$	$m_{м} = \frac{M_{мин}}{M_{н}}$	$k_{i_{дв}} = \frac{I_{пуск}}{I_{н}}$	Степень защиты
2,2	2,2	1,8	5	IP54

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

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

Номинальная частота вращения двигателя:

$$\omega_{дв.ном} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,09) \cdot 314,159 = 285,885 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{дв.ном} = \frac{P_{дв.ном}}{\omega_{дв.ном}} = \frac{550}{285,885} = 1,94 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток статора (действующее значение) при схеме соединения обмоток звездой:

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

$$I_{1фн} = I_{1лн} = \frac{P_{дв.ном}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{550}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,75} = 1,307 \text{ А}$$

Максимально потребляемый ток двигателя при прямом пуске:

$$I_{1max} = k_{i_{дв}} \cdot I_{1лн} = 5 \cdot 1,307 = 6,535 \text{ А}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_K = m_K \cdot M_{\text{дв.ном}} = 2,2 \cdot 1,94 = 4,268 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске:

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{П}} \cdot M_{\text{дв.ном}} = 1,8 \cdot 1,94 = 3,492 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H)}{1 - p_* \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(\frac{p_* \cdot (1 - s_H)}{1 - p_* \cdot s_H} \right)^2}} = \sqrt{\frac{1^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 1,307 \cdot (1 - 0,09)}{1 - 0,75 \cdot 0,09} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,09)}{1 - 0,75 \cdot 0,09} \right)^2}} = 0,429 \text{ А},$$

$$\text{где } I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 550}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,75} = 1 \text{ А} \text{ – ток статора двигателя}$$

при частичной нагрузке;

$\eta_{p_*} = \eta_n$ – КПД при частичной нагрузке;

$\cos \varphi_{p_*} = 0,98 \cdot \cos \varphi_n = 0,98 \cdot 0,85 = 0,833$ – коэффициент мощности при

частичной нагрузке;

$p_* = \frac{P}{P_H} = 0,75$ – коэффициент загрузки двигателя.

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения. В первом приближении принимаем $\beta=1$ (коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора):

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

$$0,09 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,09 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,484$$

Далее определяем ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{0,429}{2 \cdot 5 \cdot 1,307} = 1,033;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,09)}{2 \cdot 1,033 \cdot 2,2 \cdot 550} = 52,865.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{52,865}{\left(1 + \frac{1}{0,484}\right) \cdot 1,033} = 16,688 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,033 \cdot 16,688 \cdot 1 = 17,236 \text{ Ом.}$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,484^2} - 1^2} = 1,809$$

Тогда сопротивление короткого замыкания:

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 1,809 \cdot 1,033 \cdot 16,688 = 31,183 \text{ Ом.}$$

Чтобы выделить из индуктивного сопротивления короткого замыкания сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, используем соотношения, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X'_{2\text{н}} = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 31,183}{1,033} = 17,512 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_{1\text{н}} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 31,189 = 13,097 \text{ Ом.}$$

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

$$E_m = \sqrt{\left(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1\text{н}}\right)^2 + \left(U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_{1\text{н}} \cdot I_{1\text{н}}\right)^2} = \\ \sqrt{(220 \cdot 0,85 - 17,236 \cdot 1,307)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - (0,85)^2} - 13,097 \cdot 1,307)^2} = 191,85 \text{ В.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_{\mu\text{н}} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{191,85}{0,429} = 447,196 \text{ Ом.}$$

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

$$s_{к1} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1,033 \cdot 16,688}{\sqrt{17,236^2 + 31,183^2}} = 0,951.$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{13,097}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,042 \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{17,512}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,056 \text{ Гн}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{447,197}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,423 \text{ Гн.}$$

Значение номинального потокосцепления двигателя

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 0,429 \cdot 1,423 = 0,864 \text{ Вб.}$$

Значение номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{\text{эм.н}} = M_{\text{эм.н}}(s_H) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[(X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 16,688}{78,54 \cdot 0,09 \cdot (31,183^2 + (17,236 \cdot \frac{16,688}{0,09})^2 + (\frac{17,236 \cdot 16,688}{0,09 \cdot 447,196})^2)} = 2,036 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_{\text{с.дв}} = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{дв.н}} = 2,036 - 1,924 = 0,112 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя:

$$J_M = 0,5 \cdot J_{\text{дв}} = 0,5 \cdot 0,0009 = 0,00045 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Эквивалентный момент инерции привода:

$$J_{\text{э}} = J_{\text{дв}} + J_M = 0,0009 + 0,00045 = 0,00135 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

2.4. Расчет естественной механической характеристики

Механическая характеристика $M(s)$ асинхронного двигателя рассчитывается для частоты $f_{1H} = 50$ Гц по выражению:

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

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M)$, где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

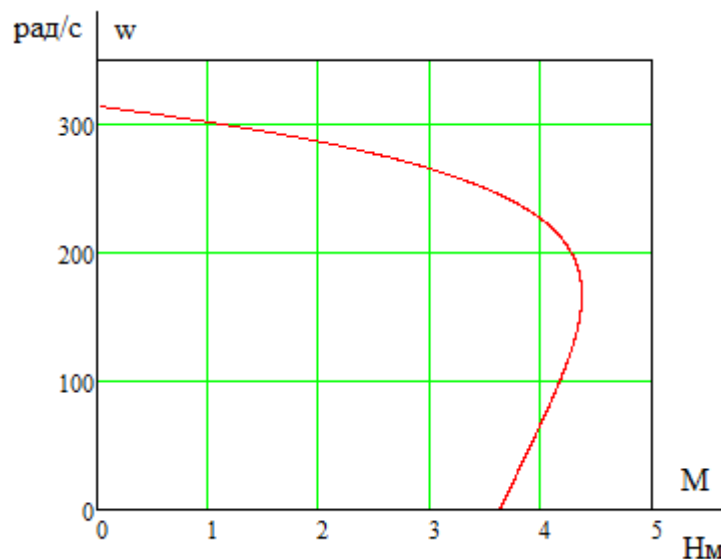


Рисунок 5 – Механическая характеристика электродвигателя $\omega(M)$

2.5. Расчет естественной электромеханической характеристики

Электромеханическая характеристика $I_1(s)$ асинхронного двигателя рассчитывается для значения частоты $f_{1H} = 50$ Гц по выражению:

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

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{(X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2}}$$

По результатам расчета строим электромеханическую характеристику $\omega(I_1)$.

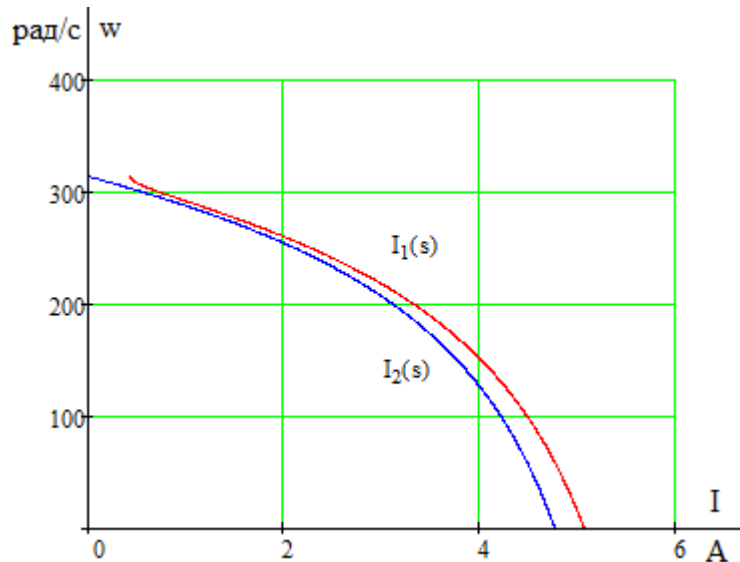


Рисунок 6 – Электромеханическая характеристика $\omega(I_1)$

2.6. Выбор преобразователя частоты

Выбор преобразователя частоты производим по следующим рекомендациям:

1. Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220В, 50 Гц.

2. Выходные параметры преобразователя частоты:

- три фазы;
- максимальное выходное (линейное) напряжение 380В;
- максимальная выходная частота преобразователя

$$f_{п.макс} > 50 \cdot \frac{\omega_{эл.макс}}{\omega_0 \cdot (1 - s_K)} = 50 \cdot \frac{297,404}{314,159 \cdot (1 - 0,484)} = 91,686 \text{ Гц};$$

- минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{п.мин} < 50 \cdot \frac{\omega_{эл.мин}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{29,74}{314,159} = 4,733 \text{ Гц};$$

3. Преобразователь выбирается по номинальному (длительно допустимому) току $I_{ин}$ и максимальному (кратковременно допустимому) току $I_{и.макс}$ по следующим условиям:

$$I_{ин} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{с.макс}}{M_{дв.ном}} = 1,307 \cdot \frac{1}{1,924} = 0,679 \text{ А};$$

$$I_{и.макс} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{эп.макс}}{M_{дв.ном}} = 1,307 \cdot \frac{2}{1,924} = 1,359 \text{ А}.$$

Параметры выбранного преобразователя частоты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение $U_{и}$, В	Выходная частота $f_{и}$, Гц	Выходной ток		Максимальная мощность двигателя P_2 , кВт
	$U_{1л}$, В	f_c , Гц			$I_{ин}$, А	$I_{и.макс}$, А	
6SE70 7016	380	50Гц	380	400	6,1	8,3	2,2

Принимаем тип управления: скалярное.

2.7. Выбор несущей частоты инвертора

Выбор несущей частоты инвертора $f_{ШИМ}$ осуществляется в соответствии с рекомендациями фирмы производителя для выбранного типа преобразователя с учетом фактического тока загрузки. Если для выбранного преобразователя частоты отсутствуют рекомендации по выбору несущей частоты, то для её выбора можно воспользоваться приведенными на рисунок 7 обобщенными зависимостями несущей частоты для преобразователей малой и средней мощности фирмы Siemens. Рекомендуемое максимальное значение несущей частоты зависит от номинальной выходной мощности преобразователя и фактического тока загрузки инвертора при максимальной нагрузке привода[3].

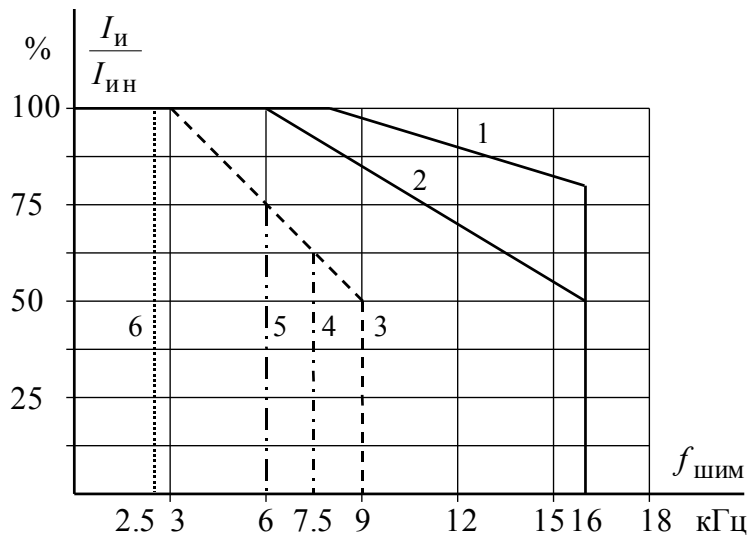


Рисунок 7 – Зависимости максимального значения несущей частоты инвертора от номинальной выходной мощности и загрузки преобразователя: 1 – до 3 кВт; 2 – до 55 кВт; 3 – до 90 кВт; 4 – до 132 кВт; 5 – до 250 кВт; 6 – до 900 кВт

Принимаем несущую частоту инвертора $f_{\text{ШИМ}} = 16$ кГц.

2.8. Определение интервала частот инвертора

Частоты инвертора, необходимые для обеспечения требуемых скоростей вращения, находим, решая совместно уравнения механической характеристики двигателя и нагрузки при максимальной $\omega_{\text{эп.макс}} = 297,404 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ и минимальной

скоростях электропривода $\omega_{\text{эп.мин}} = 29,74 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

$$\frac{3 \cdot [U_1(f_1)]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]} = M_c(\omega)$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2; \quad M_c(\omega) = M_{\text{с.мин}} + M_{\text{с.макс}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{эп.макс}}} \right)^2.$$

учитывая, что $\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{z_p}$; $s = 1 - \frac{\omega}{\omega_0}$.

Используем программную среду MathCAD.

$$\frac{3 \left[U_1 \cdot \left(\frac{z}{50} \right)^2 \cdot R_2 \right]}{\left(\frac{2 \cdot 3.14 \cdot z}{z_p} - W_{\text{з\max}} \right) \cdot \left[\left(\frac{z}{50} \cdot X_{\text{кн}} \right)^2 + \left[\frac{R_2}{\left(\frac{2 \cdot 3.14 \cdot z}{z_p} - W_{\text{з\max}} \right)} \right]^2 + R_1 \right]^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{\frac{z}{50} \cdot X_{\mu} \cdot \frac{2 \cdot 3.14 \cdot z}{z_p} - W_{\text{з\max}}} \right)^2} - M_{\text{с\max}} \text{ solve, } z \rightarrow \begin{pmatrix} 437.37742619085677197 \\ 49.326102103315965112 \\ 47.35734148723466879 \\ 47.35734148723466879 \\ 2.4027750197262549748 + 8.5874474988678845671i \\ 2.4027750197262549748 - 8.5874474988678845671i \end{pmatrix}$$

Принимаем максимальную частоту инвертора: $f_{\text{и.макс}} = 49,33$ Гц.

$$\frac{3 \left[U_1 \cdot \left(\frac{z}{50} \right)^2 \cdot R_2 \right]}{\left(\frac{2 \cdot 3.14 \cdot z}{z_p} - W_{\text{з\min}} \right) \cdot \left[\left(\frac{z}{50} \cdot X_{\text{кн}} \right)^2 + \left[\frac{R_2}{\left(\frac{2 \cdot 3.14 \cdot z}{z_p} - W_{\text{з\min}} \right)} \right]^2 + R_1 \right]^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{\frac{z}{50} \cdot X_{\mu} \cdot \frac{2 \cdot 3.14 \cdot z}{z_p} - W_{\text{з\min}}} \right)^2} - M_{\text{с\max}} \text{ solve, } z \rightarrow \begin{pmatrix} 394.02237886820237557 \\ 8.800432781021083165 \\ 4.7357341487234675159 \\ 4.7357341487234675159 \\ 1.7215260036896928762 - 1.6561384258397945341i \\ 1.7215260036896928762 + 1.6561384258397945341i \end{pmatrix}$$

Принимаем минимальную частоту инвертора: $f_{\text{и.мин}} = 8,8$ Гц.

2.9. Искусственные статические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Механические характеристики $\omega(M)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора в интервале от $f_{\text{и.мин}} = 8,8$ Гц до $f_{\text{и.макс}} = 49,33$ Гц рассчитываются по выражениям:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]};$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2; \quad \omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1-s).$$

Построим искусственные механические характеристики для частот $f_1 = 49,33$ Гц, $f_2 = 30$ Гц, $f_3 = 10$ Гц. Данные частоты соответствуют трем режимам:

режиму для повышения температуры, режиму приближения к заданной температуре и режиму поддержки горения.

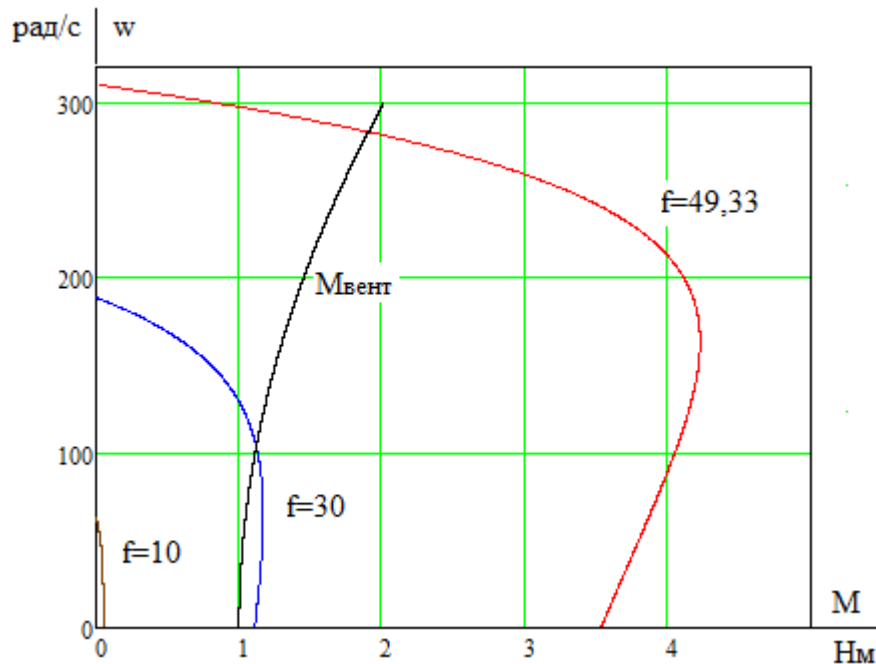


Рисунок 8 – Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Анализ приведенных на рисунке 8 механических характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не удастся обеспечить пуск электропривода при минимальной частоте инвертора $f_{\text{и.мин}} = 10$ Гц в связи с тем, что момент нагрузки превышает пусковой момент.

С целью увеличения пускового момента вольт - частотную характеристику представляем зависимостью:

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 = 10 + (220 - 10) \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2.$$

Механические характеристики системы преобразователь – двигатель с учетом выбранной настройки вольт-частотной характеристики приведены на рисунке 8.

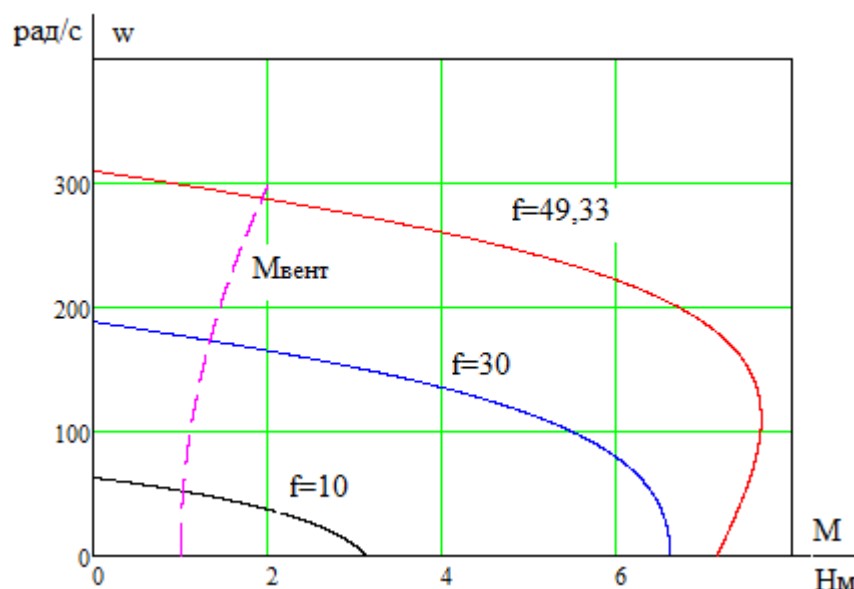


Рисунок 9 – Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель после коррекции вольт - частотной характеристики
 Электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель после настройки вольт-частотной характеристики преобразователя рассчитываются для выбранных ранее значений частоты по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)};$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}}; \quad \sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}},$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}};$$

где:

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 = 10 + (220 - 10) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2,$$

По результатам расчета на рисунке 9 построено семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ системы преобразователь-двигатель.

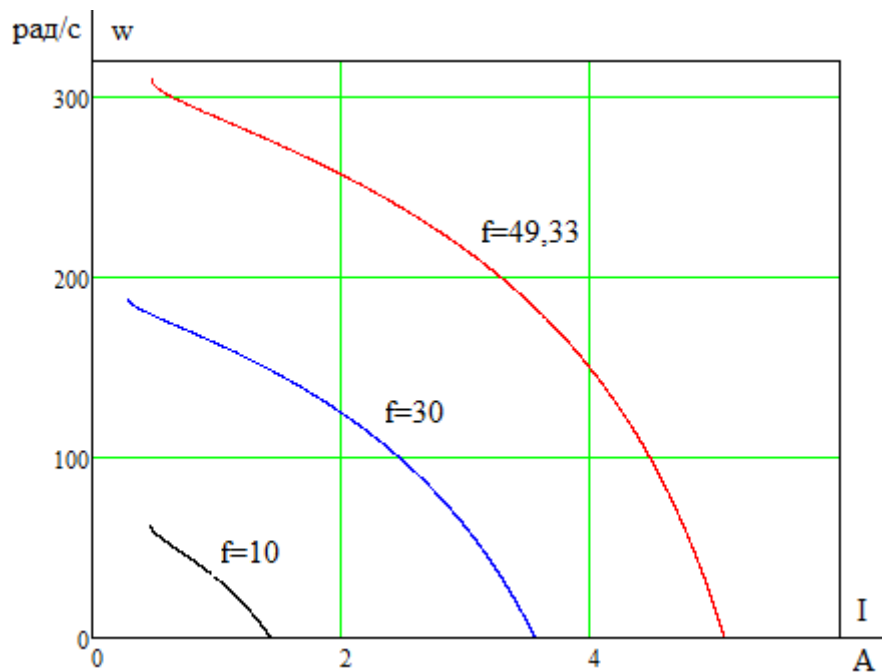


Рисунок 10 – Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$ при скалярном управлении после коррекции вольт-частотной характеристики

2.10. Моделирование скалярной системы управления

Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением приведена на рисунке 11. В состав электропривода входят: преобразователь частоты и асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Настраиваемыми параметрами электропривода являются: тип и параметры задатчика интенсивности скорости (ЗИС), значение минимальной частоты преобразователя $f_{\text{и мин}}$, закон регулирования U_1/f_1^2 и коррекция вольт-частотной характеристики.

Структура частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением и IR-компенсацией представлена на рисунке 11.

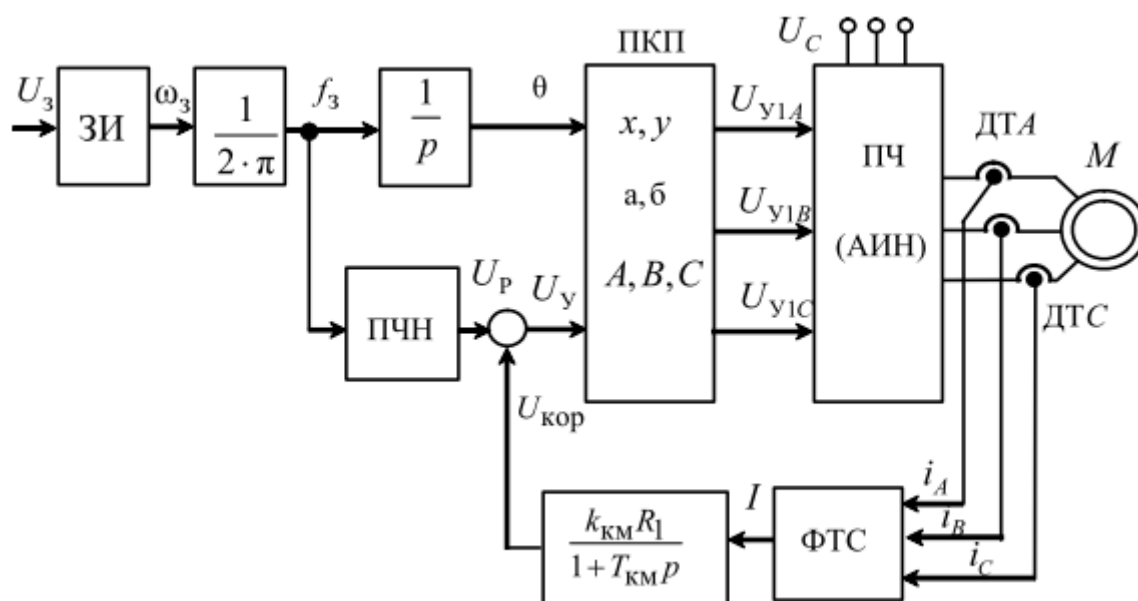


Рисунок 11 – Структура асинхронного электропривода со скалярным управлением и IR-компенсацией

- ЗИ – задатчик интенсивности формирует кривую и темп разгона двигателя;
- ПЧН – блок «преобразователь частота – напряжение» формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя, чем и устанавливает один из принятых способов частотного регулирования;
- ПКП – прямой координатный преобразователь, на выходе которого формируется три синусоидальных напряжения управления U_{y1A} , U_{y1B} , U_{y1C} , сдвинутые относительно друг друга на угол $\pm 2\pi/3$, с амплитудами, пропорциональными напряжению управления;
- АИН – автономный инвертор, на выходе которого сигналы U_{y1A} , U_{y1B} , U_{y1C} формируют фазные напряжения;
- ФТС – формирователь тока статора, необходим для коррекции тока статора и создания корректирующего напряжения;
- ДТС – датчик тока статора.

Имитационная модель асинхронного электропривода со скалярным управлением без датчика интенсивности в программной среде MATLAB Simulink представлена на рисунке 12.

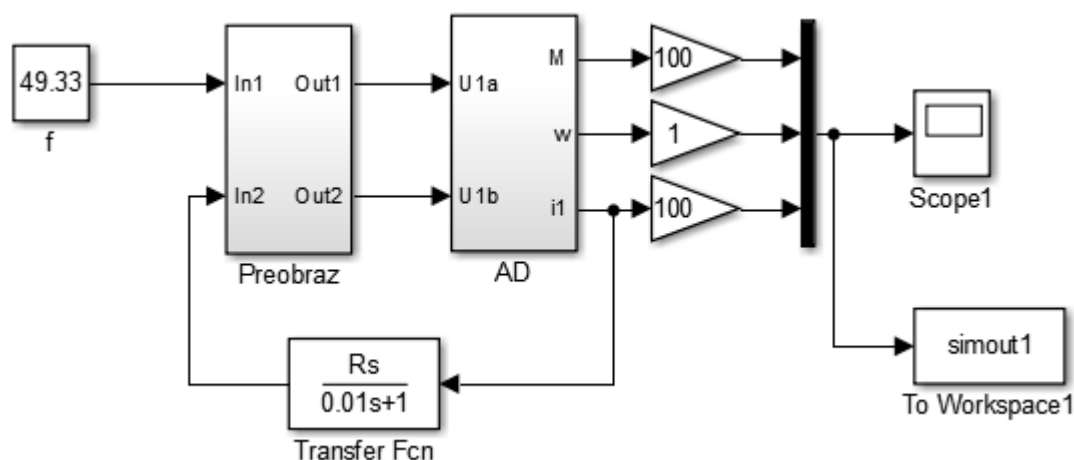


Рисунок 12 – Имитационная модель асинхронного электропривода со скалярным управлением без датчика интенсивности

Имитационная модель асинхронного двигателя (подсистема «AD») с вентиляторной нагрузкой представлена на рисунке 13.

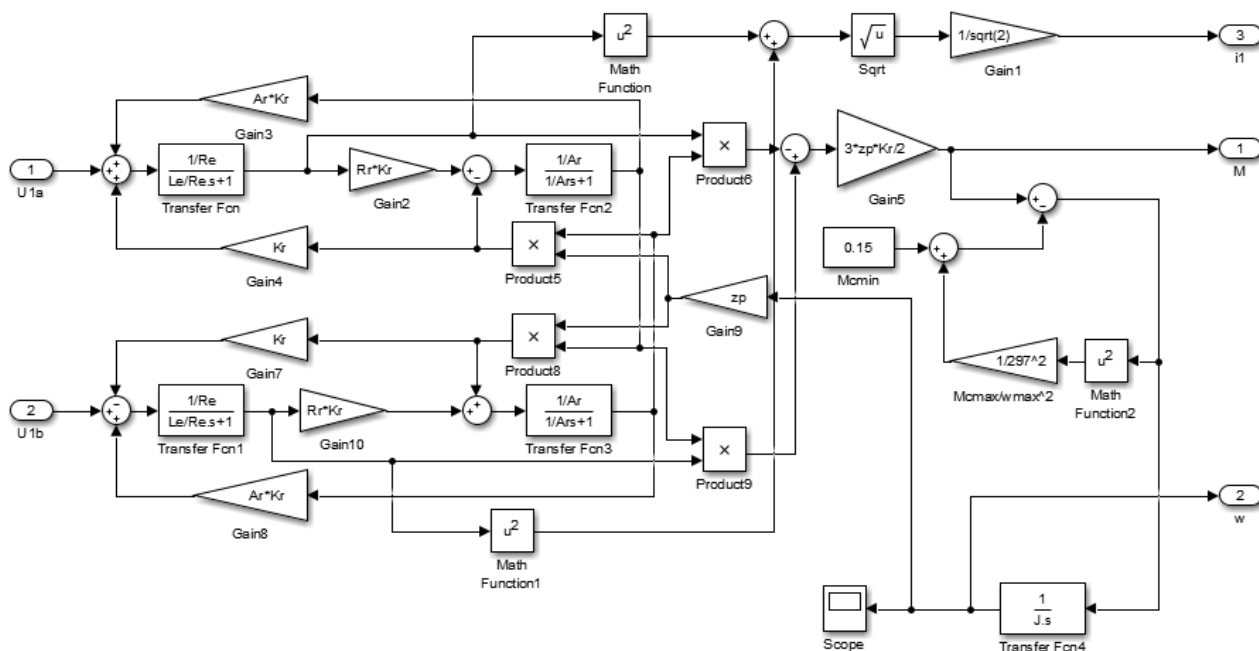


Рисунок 13 – Имитационная модель асинхронного двигателя с вычислением тока статора

Имитационная модель преобразователя частоты (подсистема «Preobraz») представлена на рисунке 14.

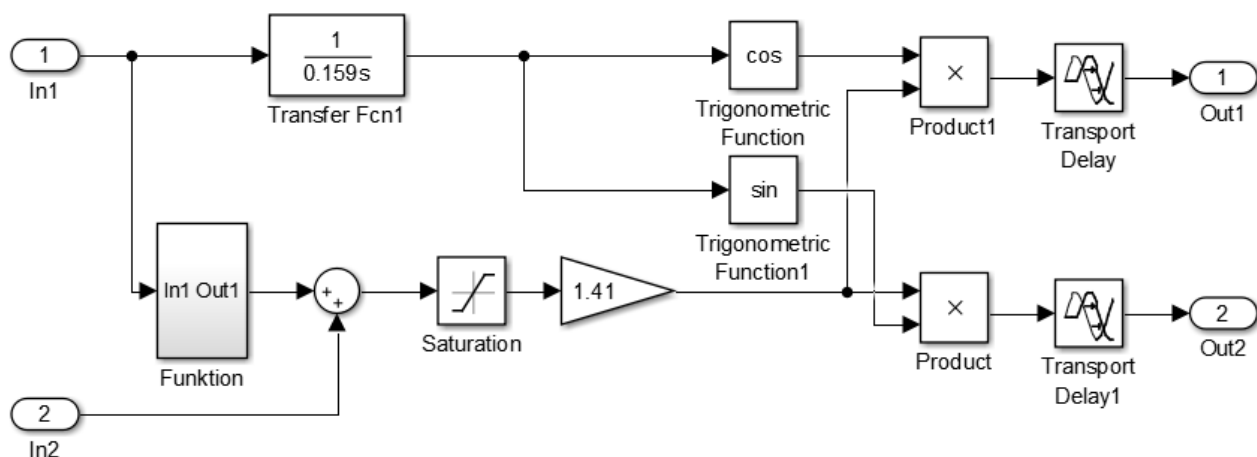


Рисунок 14 – Имитационная модель преобразователя частоты

Подсистема «Funktion» реализует математическую функцию

$$U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}}\right)^2 = 10 + (220 - 10) \cdot \left(\frac{x}{50}\right)^2 = 10 + 0,084x^2 \text{ В}$$

при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и принятой ранее настройке вольт-частотной характеристики. Подсистема «Funktion» изображена на рисунке 15.

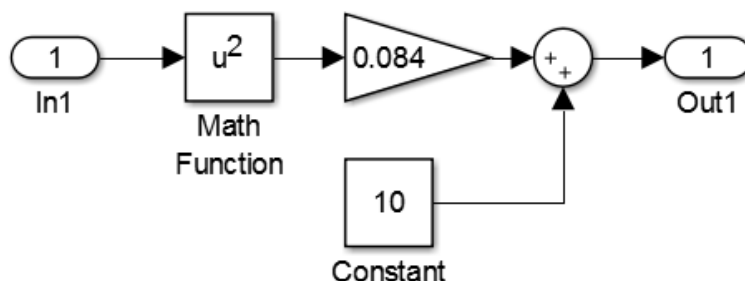


Рисунок 15 – Подсистема «Funktion» при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и коррекции вольт-частотной характеристики

На рисунках 16-18 представлены переходные процессы скорости вала и электромагнитного момента асинхронного электропривода при пуске на частоты $f=49,33$ Гц; $f=30$ Гц; $f=10$ Гц.

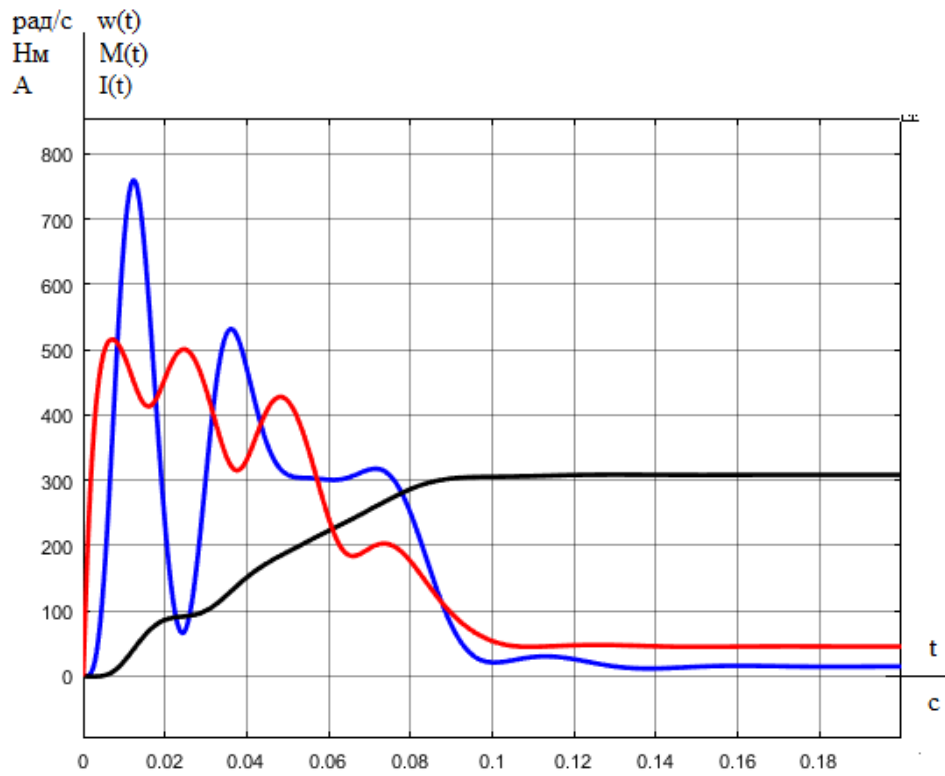


Рисунок 16 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=49,33$ Гц

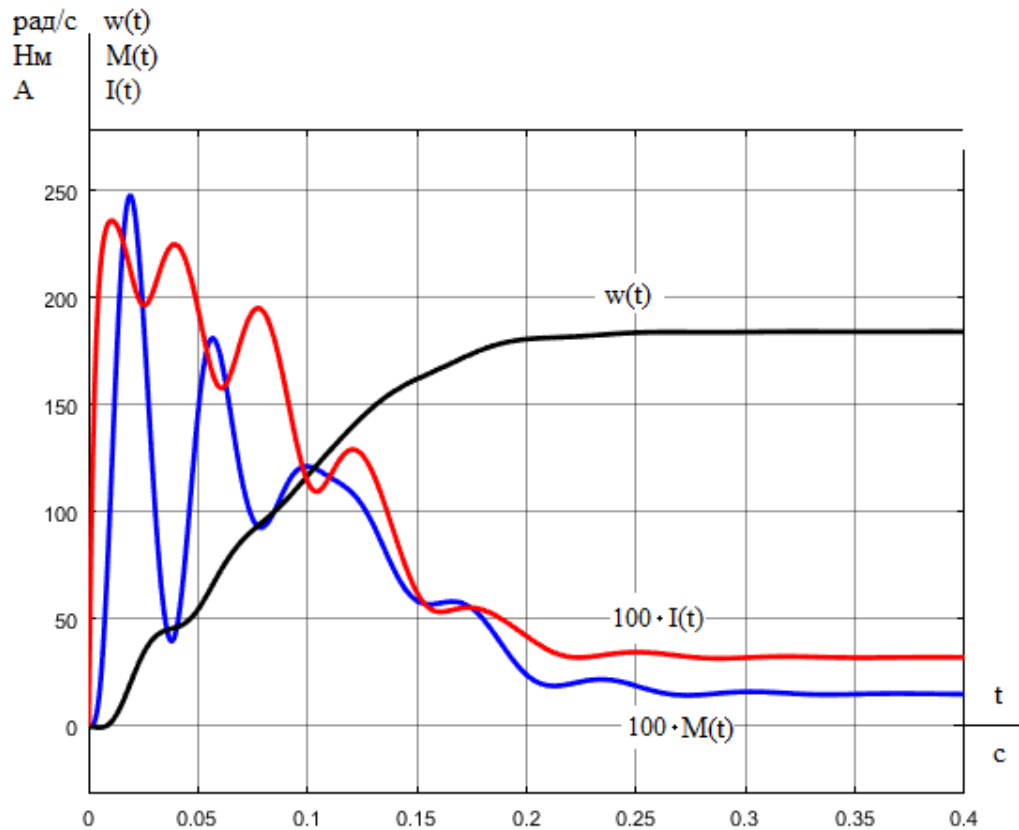


Рисунок 17 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=30$ Гц

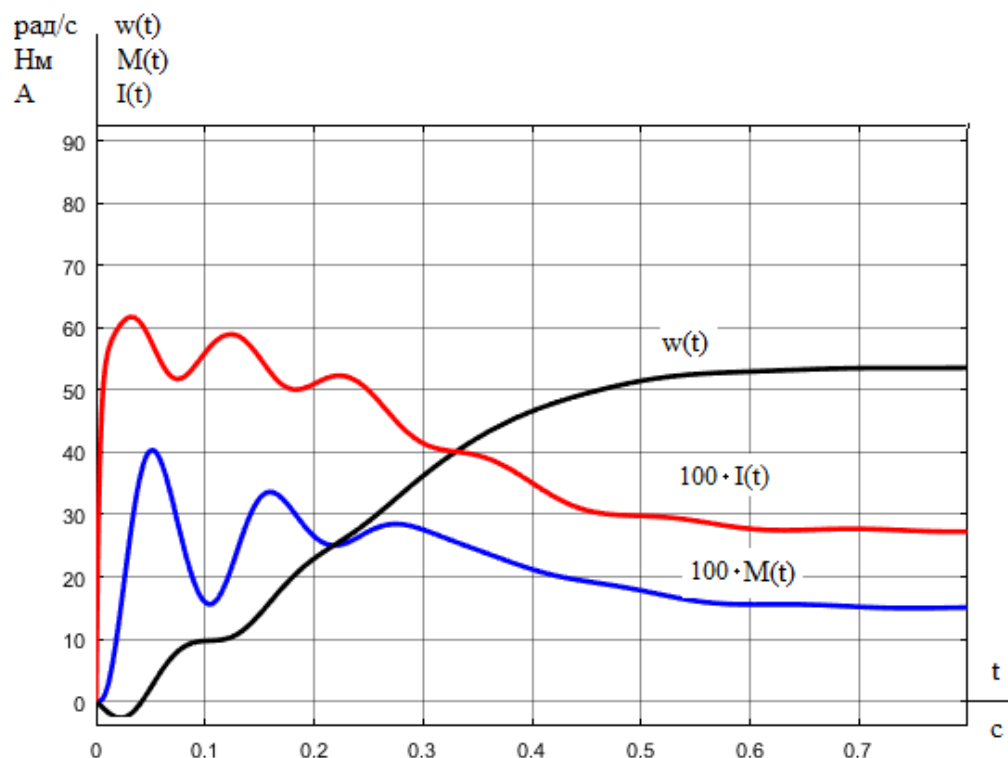


Рисунок 18 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=10$ Гц

Имеющуюся модель скалярного управления дополним задатчиком интенсивности на входе системы – для ограничения пусковых моментов и осуществления плавного пуска по техническому заданию. Имитационная модель S-образного задатчика интенсивности изображена на рисунке 20.

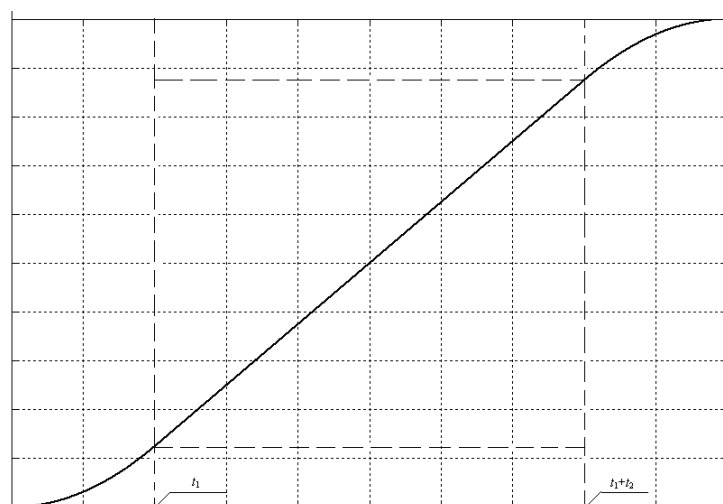


Рисунок 19 – Временная характеристика задатчика с S-образной характеристикой

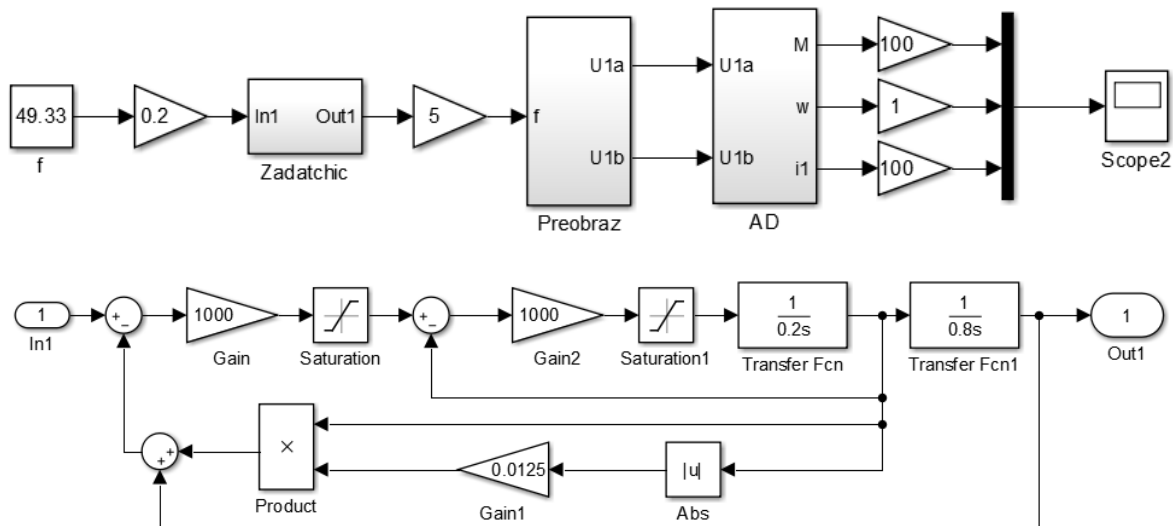


Рисунок 20 – Имитационная модель S-образного задатчика интенсивности

Параметры задатчика интенсивности:

$$T_{И1} = t_1; T_{И2} = t_1 + t_2; k = 0,05 \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2}.$$

В модели с задатчиком интенсивности проведем моделирование пуска электропривода под нагрузкой на частоты $f=49,33$ Гц, $f=30$ Гц, $f=10$ Гц.

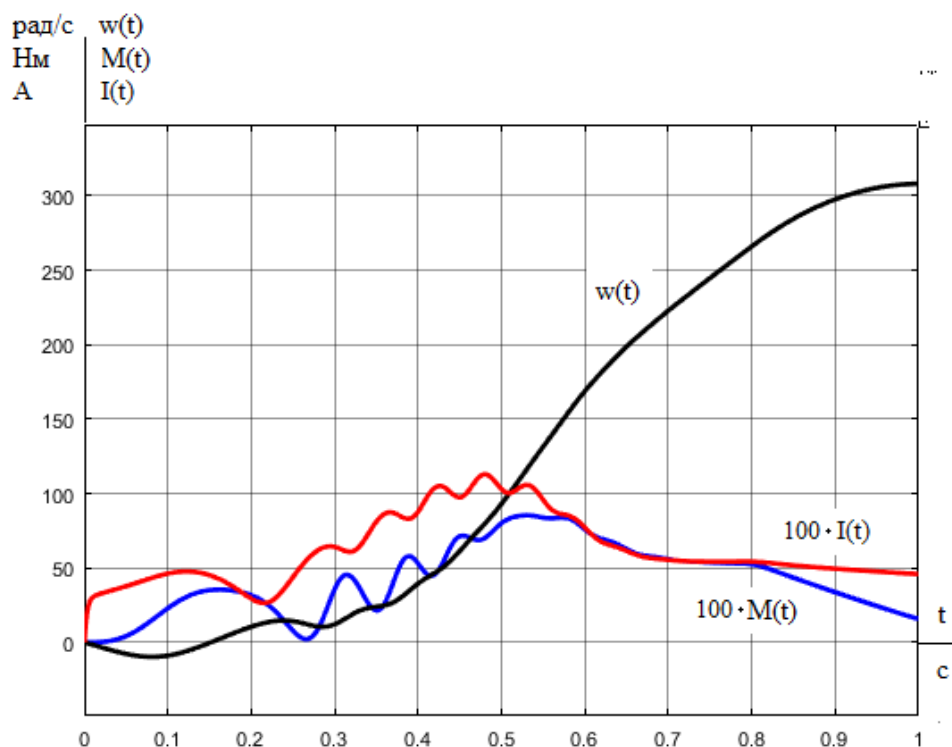


Рисунок – 21 Переходные процессы при пуске электропривода под нагрузкой на частоте $f=49.33$ (Гц)

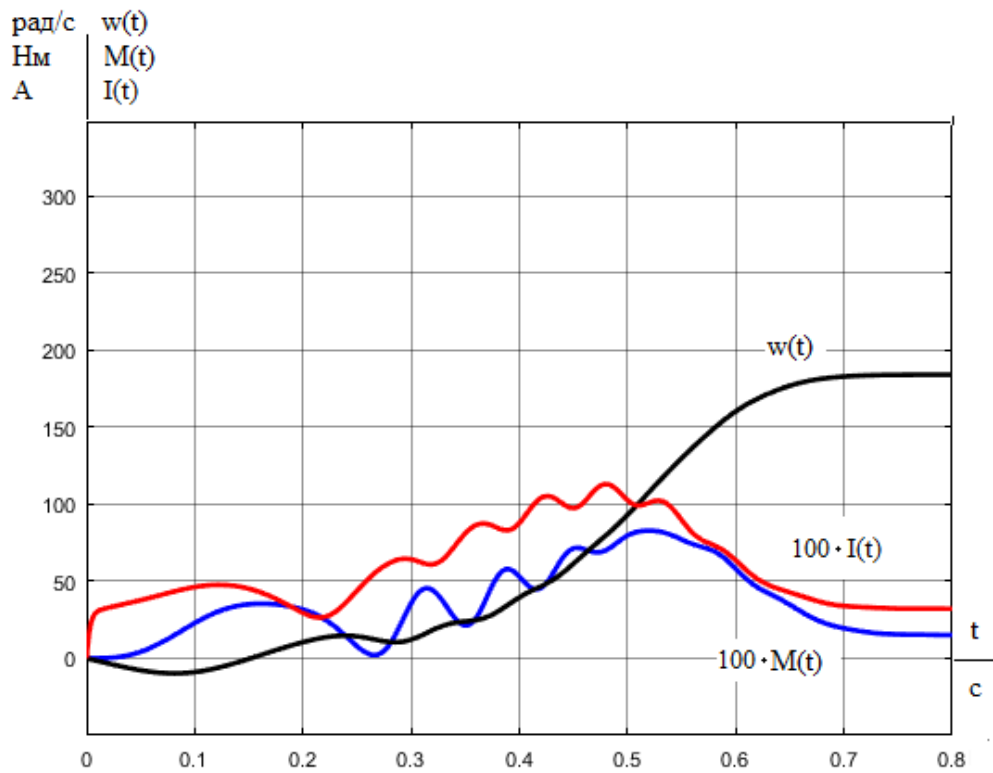


Рисунок – 22 Переходные процессы при пуске электропривода под нагрузкой на частоте $f=30$ (Гц)

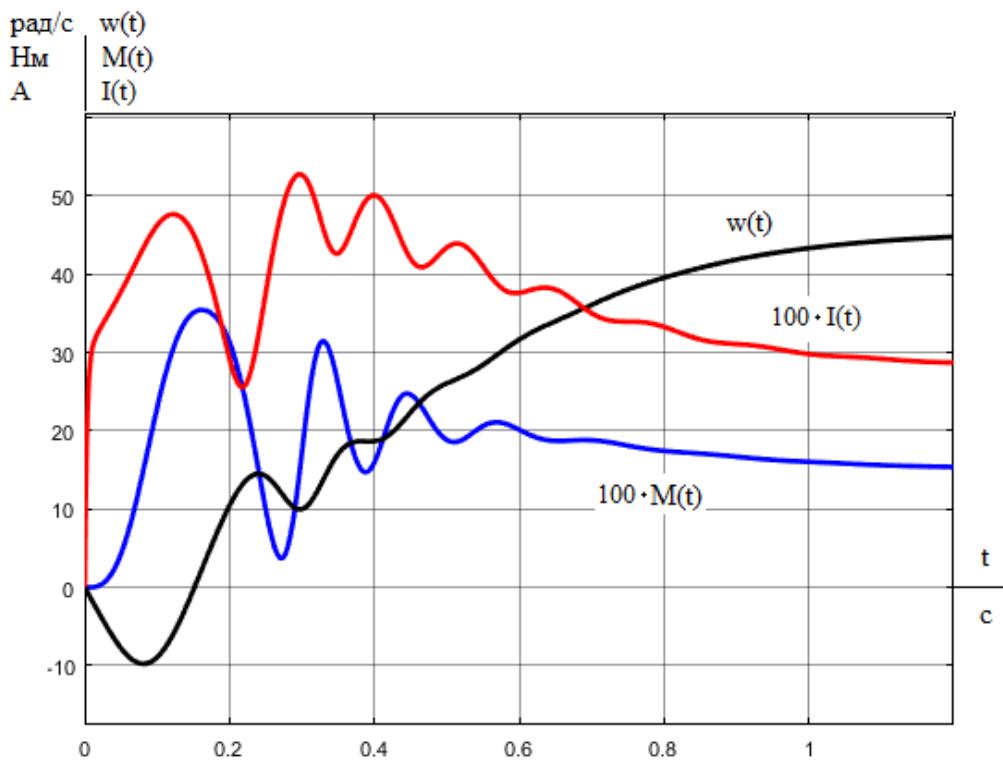


Рисунок – 23 Переходные процессы при пуске электропривода под нагрузкой на частоте $f=10$ (Гц)

В результате моделирования скалярного электропривода с использованием датчика интенсивности, обеспечивающего плавность регулирования подачи воздуха.

2.11. Программируемый логический контроллер

Для поддержания заданной температуры будем использовать программируемый логический контроллер. Выбираем контроллер ОВЕН ПЛК100-24К со следующими параметрами:

- количество встроенных входов-выходов: 8 входов и 12 выходов;
- питания 24В постоянного тока;
- тип выхода: транзисторные ключи;
- разрядность ЦАП 16 бит;
- предел основной приведенной погрешности 0,5%;
- светодиодная индикация питания и состояния дискретных входов и выходов;
- потребляемая мощность 6 Вт;
- 32-х разрядный RISC - процессор 200, Ethernet, USB-Device;
- объем оперативной памяти 8 Мбайт.

Контроллер (микропроцессорный блок котельной автоматики) предназначен для управления работой котлов, он обеспечивает их безопасную эксплуатацию и автоматическое регулирование мощности в диапазоне 20–100% от номинальной. Регулировка мощности осуществляется изменением количества подаваемого в топку угля и пропорциональным изменением подачи воздуха. Для этого контроллер в соответствии с заложенной программой управляет двигателями вентилятора, дымососа и мотор-редуктора шнекового питателя. Управление исполнительными механизмами производится встроенными оптоэлектронными ключами, либо с помощью частотных регуляторов и электромагнитных реле (пускателей). К контроллеру могут быть подключены дополнительные устройства (циркуляционные насосы; вытяжка) и

GPRS-модем системы диспетчеризации (опция). Тип установленного оборудования и схема соединений указывается на принципиальной электрической схеме, входящей в состав технической документации на котел.

Контроллер обеспечивает 3 метода автоматической регулировки мощности. Основным методом является управление по температуре подачи теплоносителя; возможно погода зависимое управление (по уличному датчику температуры), а также по длительности подачи угля (при этом напрямую задается мощность котла). Установленные на заводе настройки обеспечивают оптимальное сжигание в котле рекомендованного угля. Порядок изменения режимов работы и служебных настроек (Setup) должен быть описан в «Руководстве по программированию контроллера»

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Темой научной исследовательской работы является «Система автоматической подачи топлива и воздуха твердотопливного котла».

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НТИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НТИ;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

К научно-исследовательским работам относятся работы поискового, теоретического и экспериментального характера, которые выполняются с целью расширения, углубления и систематизации знаний по определенной научной проблеме и создания научного задела.

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

Создание системы с частотно-регулируемыми приводами, в которых управление частотой осуществляется наряду с контролем целого комплекса различных технологических параметров, позволяет снизить не только потребление электрической энергии, но и обеспечивает экономию потребления энергоресурсов всей системы.

В целом, применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода в вентиляторных установках дает следующие преимущества:

- экономия электроэнергии до 60%;
- экономия транспортируемого топлива до 40%;
- снижение аварийности гидравлической или пневматической сети за счет поддержания минимально необходимого давления;
- снижение аварийности сети и снижение аварийности электрооборудования за счет устранения ударных пусковых токов;
- снижение уровня шума, создаваемого технологическим оборудованием;
- удобство автоматизации.

3.2 SWOT-анализ

SWOT–анализ является инструментом стратегического менеджмента, представляет собой комплексное исследование технического проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы. Матрица SWOT приведена в таблице 3.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

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

Таблица 3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая эффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Повышение безопасности производства С4. Экономия энергоресурсов и средств	Слабые стороны проекта: Сл1. Сложная система Сл2. Дороговизна оборудования Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл4. Трудность монтажа системы
Возможности: В1. Увеличение производительности твердотопливного котла В2. Появление дополнительной автоматизированной системы управления и защиты. В3. Использование различных видов топлива В4. Использование более дешевых элементов привода и системы управления	В1С1С4 В2С3 В3С2С4 В4С1	В1Сл1Сл2 В2Сл1Сл4
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии производства У2. Дороговизна может препятствовать покупке продукта У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Угрозы выхода из строя сложного оборудования	У2С3 У3С3 У4С2С4	У1Сл2Сл4 У2Сл1Сл3Сл4 У3Сл1Сл2 У4Сл4

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).

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 4 и 5, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 4 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	В1	+	-	-	+
	В2	-	-	+	-
	В3	-	+	-	+
	В4	+	-	-	-
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	+	+	-	-
	В2	+	-	-	+
В3	-	-	-	-	
В4	-	-	-	-	

Таблица 5 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	У1	-	-	-	-
	У2	-	-	+	-
	У3	-	-	+	-
	У4	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	+
	У2	+	-	+	+
У3	+	+	-	-	
У4	-	-	-	+	

При разработке системы автоматического горения и подачи топлива была поставлена цель на проектирование с возможно большим внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированной диагностической системы, что немало важно для потребителей.

3.3. Технология QuaD

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме таблица 6.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
Энергоэффективность	0,15	85	100	0,85	12,75
Надежность	0,05	80	100	0,8	4
Унифицированность	0,05	70	100	0,7	3,5
Уровень материалоемкости разработки	0,05	60	100	0,6	3
Безопасность	0,05	80	100	0,8	4
Функциональная мощность	0,15	60	100	0,6	9
Ремонтопригодность	0,05	70	100	0,7	3,5
Простота эксплуатации	0,1	75	100	0,75	7,5
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкурентоспособность продукта	0,05	70	100	0,7	3,5
Уровень проникновения на рынок	0,075	70	100	0,7	5,25
Перспективность рынка	0,05	80	100	0,8	4
Цена	0,1	50	100	0,5	5
Финансовая эффективность научной разработки	0,075	70	100	0,7	5,25
Итого	1	920	1300		70,25

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

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \sum V_i \cdot B_i$$

где $P_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение $P_{\text{ср}}$ получилось равным 70,25, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

Для большего распространения необходимо сделать некие маркетинговые ходы, поскольку не многие знают о подобных разработках. А также необходимо искать решения в альтернативных, более дешевых, материалах, которые могут быть использованы взамен, тех дорогих, которые используются сейчас

3.4 Планирование научно-исследовательских работ

3.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	Разработка структурной схемы	Инженер
	Составление функциональной схемы	Инженер
	Разработка и тестирование имитационной модели в программной среде Matlab Simulink	Инженер
Оценка эффективности	Проверка работоспособности системы	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	Составление схемы диагностической системы	Инженер
	Составление пояснительной записки	Инженер

3.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

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

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 112} = 1,49 \approx 1,5$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название Работы	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ожг}}$, чел-дни		
Составление и утверждение технического задания	2	2	2	2	3
Подбор и изучение материалов по теме	3,5	5	4,1	4,1	6,15
Выбор направления исследований	1	2	1,4	0,7	1,05
Календарное планирование работ по теме	1	2	1,4	0,7	1,05
Проведение теоретических расчетов и обоснований	6	8	6,8	6,8	10,2
Построение моделей и проведение экспериментов	10	14	11,6	5,8	8,7
Апробация реализованной схемы	5	8	6,2	3,1	4,7
Оценка эффективности полученных результатов	2	3	2,4	1,2	1,8
Составление пояснительной записки	4	7	5,2	5,2	7,8

Публикация результатов	2	7	4	4	6
------------------------	---	---	---	---	---

3.5.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

На основе таблицы 8 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности третьего варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 9.

3.5.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ заносится в таблицу 10.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Таблица 9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Название Работы	Исполнители	T _{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				фев.		март			апрель			май			июн ь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка технического задания	Руководитель	4,2	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	9,3		■	■	■									
3	Выбор направления исследований	Инженер	2,5			■	■									
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	3,6				■	■								
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	17,4					■	■	■	■					
6	Построение моделей и проведение экспериментов	Инженер	13,2								■	■	■			
7	Апробация реализованной схемы	Инженер	6,6										■	■		
8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	1,8											■	■	
9	Составление пояснительной записки	Руководитель	7,8												■	■
10	Публикация полученных результатов	Инженер	6													■

■ – руководитель, ■ – инженер.

Таблица 10 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1.	Твердотопливный котел	1	200	200
2.	Мотор-редуктор	1	12	7
3.	Шнековый транспортер	1	15	55
4.	Вентилятор	1	5	5
5.	Программируемый логический контроллер	1	15	15
6.	Датчик температуры	3	1	3
Итого:				285

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
	Исп.1	
1. Материальные затраты НИИ	5000	Пункт 5.5.4
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	285000	Пункт 5.5.4
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	45320	Пункт 5.5.4
4. Отчисления во внебюджетные фонды	14308	Пункт 5.5.4
5. Накладные расходы	55940	16 % от суммы ст. 1-4
6. Бюджет затрат НИИ	405568	Сумма ст. 1- 5

3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Интегральный финансовый показатель

	Φ_{max} , руб.	Φ_{ri} , руб.	$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$
Аналог	429800	429800	1
Разработка		405568	0,94

Интегральный показатель ресурсоэффективности исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Разработка	Аналог
Повышение производительности труда пользователя	0,25	5	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	4	5
Надежность	0,15	4	4
Безопасность	0,15	4	4
Простота эксплуатации	0,1	4	4
Конкурентоспособность продукта	0,15	3	4
ИТОГО	1	4	4,35

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, но меньше чем у своего аналога.

В ходе выполнения данной работы, была проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного

исследования на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал применения методики. Определен полный перечень работ, проводимых при разработки системы. Определена трудоемкость проведения работ.

Данная разработка является весьма актуальной. На основе данных ресурсоэффективности делаем вывод, что для конкуренции с аналогами необходимо повысить данный показатель. Суммарный бюджет затрат НИР составил – 405568 рублей, который меньше цены аналога.

Определена целесообразность и эффективность научного исследования путем оценки научно-технического уровня проекта, а также оценки возможных рисков. В результате проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического уровня и приемлемый уровень рисков.

4. Социальная ответственность

В данном разделе рассматриваются безопасность и экологичность работы твердотопливного котла длительного горения с системой автоматической подачи топлива. Здесь будет рассматриваться обеспечение необходимых условий работы (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросы экологической безопасности.

Меры безопасности труда должны предусматриваться при проектировании, строительстве, изготовлении и вводе в действие объектов и оборудования.

4.1. Производственная безопасность

4.1.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов

Все мероприятия по охране труда проводятся с целью защиты участников трудового процесса от воздействия опасных и вредных факторов, характеризующих условия его проведения. В дипломной работе рассматривается разработка системы подачи топлива с использованием асинхронного двигателя и поддержания горения с использованием вентилятора. В данной системе присутствуют такие опасные факторы как вращающиеся части двигателя, механизмы и их элементы, электрический ток, которым питаются устройства, возможность возникновения пожара и загазованности.

Причинами травматизма при эксплуатации котлов являются неумелая их эксплуатация, неправильный монтаж, несоблюдение правил безопасного труда, неисправность приборов.

Основными опасными физическими производственными факторами при работе твердотопливного котла являются [6]:

- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

- повышенная загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенное или пониженное барометрическое давление в рабочей зоне и его резкое изменение.

К вредным факторам относится излучение монитора ЭВМ, которое в результате длительного воздействия может привести к стойкому нарушению в состоянии здоровья, шум, издаваемый при работе печатающих и копирующих устройств, находящихся в помещении, отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны, статическое электричество.

Физические вредные производственные факторы:

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.

Электрические установки представляют собой большую потенциальную опасность, поскольку в процессе эксплуатации или проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением. Опасность прикосновения человека к токоведущим частям электроустановки определяется величиной протекающего через тело человека тока [7].

Работа выполняется в спецодежде, с применением средств индивидуальной защиты (респираторы). Вспомогательные помещения имеют гардеробное оборудование и душевые комнаты. Производство относится к третьей категории вибрации, производственные шумы не значительны.

Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий уровни звука и эквивалентные уровни звука, не должны превышать 80 дБА [8].

Снижение шума, создаваемого на рабочем месте внутренними источниками, а также шума проникающего извне, является очень важной задачей. Снижение шума в источнике излучения можно обеспечить

применением упругих прокладок между основанием машины, прибора и опорной поверхностью. В качестве прокладок используются резина, войлок, пробка, различной конструкции амортизаторы. Под настольные шумящие аппараты можно подкладывать мягкие коврики из синтетических материалов, а под ножки столов, на которых они установлены, - прокладки из мягкой резины, войлока, толщиной 6 - 8 мм. Крепление прокладок возможно путем приклейки их к опорным частям.

При эксплуатации котлов применяется боковое естественное освещение. В тех случаях, когда одного естественного освещения не хватает, устанавливается совмещенное освещение. При этом дополнительное искусственное освещение применяется не только в темное, но и в светлое время суток. Искусственное освещение по характеру выполняемых задач делится на рабочее, аварийное, эвакуационное.

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [9]. Нормируемый показатель искусственного и естественного освещения составляет 20 лк. Для уменьшения влияния этого вредного фактора применяют средства и методы коллективной защиты и средства индивидуальной защиты.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции, для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих[10].

Содержание оксида углерода в сухих неразбавленных (в пересчете на коэффициент избытка воздуха, равный единице, и нормальные физические

условия: 760 мм рт. ст. и 0 °С) уходящих газах не должно превышать значений, указанных в таблице 14 [6].

Таблица 14 – Содержание вредных веществ для розничного вида топлива

Вид топлива	Номинальная теплопроизводительность, МВт	Содержание вредных веществ в сухих неразбавленных уходящих газах, мг/м ³		
		Оксид углерода (СО)		
		Класс I	Класс II	Класс III
Каменный уголь	Св. 0,1 до 0,3	3600	7200	24000
Бурый уголь		5000	10000	24000
Древесина, торф		5000	10000	24000

Содержание твердых частиц в уходящих газах котлов, работающих на твердом топливе, должно быть указано в эксплуатационных нормативных документах на конкретные котлы. Сажевое число для котлов с дутьевыми горелками на твердом топливе не должно превышать единицы по шкале Бахараха.

4.1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Конструкция, монтаж и эксплуатация котлов, работающих на твердотопливном топливе, должны соответствовать действующим правилам и инструкциям по безопасности, действующим в стране предприятия-изготовителя и в стране назначения .

Котельные помещения строят из несгораемых материалов, без чердачных перекрытий. Фронт всех котлов должен быть расположен по прямой линии и обращен к окнам котельной. Расстояние от фронта котла до противоположной стены должно быть не менее 3 м, ширина проходов между котлами, а также между котлом и стенами здания — не менее 1 м.

Запрещается хранение в котельной легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Все проходы в котельном помещении и все выходы наружу должны быть свободными.

К средствам тушения пожара, предназначенных для локализации небольших возгораний, относятся пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители, сухой песок, асбестовые одеяла [12].

Для тушения пожаров на начальных стадиях широко применяются огнетушители. По виду используемого огнетушащего вещества огнетушители подразделяются на следующие основные группы.

Пенные огнетушители, применяются для тушения горящих жидкостей, различных материалов, конструктивных элементов и оборудования, кроме электрооборудования, находящегося под напряжением.

Газовые огнетушители применяются для тушения жидких и твердых веществ, а также электроустановок, находящихся под напряжением.

В помещениях, где присутствуют ЭВМ применяются главным образом углекислотные огнетушители, достоинством которых является высокая эффективность тушения пожара, сохранность электронного оборудования, диэлектрические свойства углекислого газа, что позволяет использовать эти огнетушители даже в том случае, когда не удастся обесточить электроустановку сразу.

Для обнаружения начальной стадии загорания и оповещения службу пожарной охраны используют системы автоматической пожарной сигнализации (АПС). Кроме того, они могут самостоятельно приводить в действие установки пожаротушения, когда пожар еще не достиг больших размеров. Системы АПС состоят из пожарных извещателей, линий связи и приемных пультов (станций).

Котельная должна иметь достаточное естественное и искусственное освещение. Для электрических ламп, находящихся на высоте до 2,5 м, напряжение в осветительной сети не должно превышать 36 В [11].

Все движущиеся элементы механизмов, расположенные в местах, доступных для обслуживания, должны иметь ограждение.

Котлы должны содержать устройство, обеспечивающее возможность безопасного наблюдения за пламенем. Допускается изготовление котлов без специальных смотровых устройств, если таковые имеются в горелке и обеспечивают возможность безопасного наблюдения за пламенем.

На отводящей трубе или верхнем тройнике котла до запорной арматуры должны быть установлены манометр и термометр.

На подводящей и отводящей трубах котла должны быть установлены запорные устройства, обеспечивающие возможность полного отключения котла от системы теплоснабжения.

На топливопроводе котла, работающего на тяжелом жидком топливе, должен быть установлен прибор для измерения температуры топлива перед горелкой.

Котел, оснащенные электрооборудованием, должны соответствовать требованиям электробезопасности по ГОСТ 27570.0.

Основное питание осуществляется от трехфазной сети частотой 50 Гц, напряжением 380/220 В. Для питания отдельных устройств используются однофазные сети как переменного, так и постоянного тока с напряжением 24 В.

Для предотвращения электротравматизма недостаточно только организационных мер, здесь требуются также технические меры: защитное заземление, зануление, защитное отключение.

Автоматика безопасности котла, работающего на твердом топливе, должна обеспечивать прекращение подачи топлива при прекращении подачи электроэнергии и погасании факелов горелок, отключение которых при работе котла не допускается, а также при достижении предельных значений одного из следующих параметров:

- давления газа перед горелкой;
- разрежения в топке или за котлом;

- температуры воды на выходе из котла;
- давления воздуха перед горелками с принудительной подачей воздуха.
- давления воды (допускается установка одного датчика давления на группу котлов, включенных в общую систему);

Автоматика котлов с механическими топками должна отключать подачу топлива и дутьевые вентиляторы при прекращении подачи электроэнергии, а также при достижении предельных значений одного из следующих параметров:

- разрежения в топке;
- температуры воды на выходе из котла;
- давления воды (допускается установка одного датчика давления на группу котлов, включенных в общую систему).

4.2. Экологическая безопасность

В соответствие с требованиями ГОСТ 17.23.02–78, для каждого источника загрязнения атмосферы устанавливается предельно допустимый выброс вредных веществ из условия, что выбросы вредных веществ от данного и совокупности источников города или другого населённого пункта, с учётом перспективы развития промышленных предприятий и рассеивания вредных веществ в атмосфере, не создадут приземную концентрацию, превышающую ПДК для населения, растительного и животного мира.

Охрана воздушной среды проводится, главным образом, в направлении уменьшения количества выбросов вредных веществ за счет более тщательного сжигания топлива. Выделившийся в процессе горения оксид углерода с помощью дымососа проходит через пламя горелки, тем самым выбросы данного газа в атмосферу уменьшаются.

Двигатели, выработавшие свой ресурс, не представляют опасности для здоровья человека и окружающей среды и подлежат утилизации. Материалы двигателя (алюминий, медь, сталь, чугун) перерабатываются для вторичного использования. Органические и пластмассовые детали двигателя (лак, пластмассовые изделия, резина и др.), утилизируются с соблюдением экологических норм ГОСТ Р 55756-2013.

4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Помещения и наружные установки в зависимости от способности к образованию взрывоопасных смесей или возгоранию находящихся в них материалов и веществ делятся на взрывоопасные и пожароопасные [12].

Твердотопливный котел отнесем к категории «Б» по следующему критерию: в аварийной ситуации на работающем оборудовании могут выделяться взрывопожароопасные газы.

4.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

К основным причинам пожара и загорания в нефтяной промышленности относятся следующие:

- нарушение технологического процесса и неисправность оборудования;
- неосторожное обращение с огнем и бытовыми электроприборами;
- короткое замыкание электрических проводов и перегрев электрооборудования;
- нарушение правил пожарной безопасности при производстве электрогазосварочных и других огневых работ.

Неисправность оборудования – следствие несвоевременного планово-предупредительного ремонта, коррозии и других причин. Все это может привести к негерметичности оборудования, в зависимости от его назначения, к утечке вредных газов, что может привести к возникновению взрывоопасной концентрации газо-воздушной смеси и, как следствие, к взрыву или пожару. К таким последствиям приводят, например, негерметичность задвижек, повышенное давление в котле и другие неисправности.

Короткое замыкание электрических проводов и перегрев электрооборудования – при наличии газа электрическое искрение, сопутствующее короткому замыканию, значительное повышение температуры при перегреве электрооборудования неизбежно вызывают воспламенение этих смесей, например: загорание в резервуаре от искры короткого замыкания при обрыве кабеля подогревателя, загорание изоляционных материалов из-за

короткого замыкания в результате пробоя или перекрытия изоляции. Частой причиной пожаров также является ослабление контакта в местах присоединения токоведущих частей.

Нарушение правил пожарной безопасности при электрогазосварочных и других огневых работах – отогрев оборудования, содержащего топливо, открытым огнем. Условия возникновения пожара и загорания — наличие горючей среды, окислителя и источников зажигания.

4.3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Работа котла должна быть немедленно остановлена:

- при резком повышении давления и температуры выше установленных в котле и системе, несмотря на принятые меры (прекращение подачи топлива, уменьшение тяги и дутья);
- при наличии повреждения котла с утечкой воды из места повреждения;
- при неисправностях питательных приборов, водоуказательных приборов, манометров, термометров, предохранительных клапанов;
- при прекращении циркуляции воды в системе (неисправность насоса, отключение электроэнергии);
- при обнаружении в элементах котла (барабане, жаровой трубе, огневой коробке, трубной решетки и т.п.) трещин, вспучин, неплотностей сварных швов, разрывов труб;
- при накаливании докрасна элементов котла или каркаса;
- при горении сажи и частиц топлива в газоходах, пароперегревателе;
- при обнаружении несвойственного при работе котла шума, вибрации, стука;
- при неисправности предохранительных блокировочных устройств;
- при возникновении пожара, непосредственно угрожающего котлу.

Причины аварийной остановки котла должны быть записаны в сменном журнале.

При аварийной остановке котла необходимо:

- прекратить подачу топлива и воздуха, резко ослабить тягу;
- как можно быстрее удалить горящее топливо из топки;
- после прекращения горения в топке открыть на некоторое время дымовую заслонку;
- отключить котел от главного паропровода;
- выпустить пар через приподнятые предохранительные клапаны или аварийный выхлопной вентиль.

Запрещается подпитывать раскаленный выше допустимой температуры котел водой во избежание взрыва.

При остановке котла из-за загорания сажи или частиц топлива в газоходах, пароперегревателе или экономайзере немедленно прекратить подачу топлива и воздуха в топку, прекратить тягу, остановить дымососы и вентиляторы и полностью перекрыть воздушные и газовые заслонки.

Если возможно, заполнить газоход паром и после прекращения горения провентилировать топку.

В случае возникновения в котельной пожара работники должны немедленно вызвать пожарную охрану и принять меры к тушению, не прекращая наблюдения за котлами.

Если пожар угрожает котлам и невозможно быстро его потушить, необходимо остановить котлы в аварийном порядке.

Для предохранения рабочих от поражения электрическим током электрооборудование должно быть надежно заземлено. В соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 выполнен расчет заземляющего устройства [13].

Заземление комплектной трансформаторной подстанции наружной осуществляется электродами из круглой стали $d=10$ мм, $L=2,5$ м, забиваемых в землю на глубину 3,2 м и соединенных стальной полосой 18x4 мм. Сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом в любое время года. Все соединения выполняются сваркой согласно ПУЭ. После

устройства контура заземления необходимо измерить сопротивление и, если оно окажется больше допустимого, забить дополнительные электроды.

Расчет производится в соответствии «Типовых расчетов по электрооборудованию».

Учитывая применение грунта зимой и просыхания его летом, определяем расчётные значения $\rho_{\text{э}}$ и ρ_n при использовании трубчатых заземлителей соединительной полосы и соединительной полосы:

$$\rho_{\text{э}} = \rho_{\Gamma} \cdot \kappa_{\text{э}} = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 1,9 = 1,14 \cdot 10^4 \text{ (Ом}\cdot\text{см)},$$

где $\kappa_{\text{э}} = 1,9$ – коэффициент для вертикальных электродов;

$$\rho_n = \rho_{\Gamma} \cdot \kappa_n = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 5 = 3 \cdot 10^4 \text{ (Ом}\cdot\text{см)},$$

где $\kappa_n = 5$ – коэффициент для горизонтальных электродов.

Определим величину сопротивлений одной забитой в землю трубы по выражению:

$$R_{\text{э}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot l_m} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_m}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot h_m + l_m}{4 \cdot h_m \cdot l_m} \right),$$

где h_m – глубина заземления, $h_m = 320$ см;

l_m – длина заземления, $l_m = 250$ см;

d – диаметр заземления, $d = 0,4$ см.

$$R_{\text{э}} = \frac{1,14 \cdot 10^4}{6,28 \cdot 250} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 250}{0,4} + 0,5 \cdot \ln \frac{1280 + 250}{1280 - 250} \right) = 46,54 \text{ Ом.}$$

Определим число заземлителей:

$$n = \frac{R_{\text{э}}}{z} = \frac{46,54}{4} = 12 \text{ шт.}$$

Учитывая, что трубы соединены заземлительной полосой, которая выполняет роль заземлителя, уменьшаем число труб до 9 штук. Определим длину соединительной полосы:

$$l_m = 1,05 \cdot a \cdot (n-1) = 1,05 \cdot 7,5 \cdot (9-1) = 63,65 \text{ м,}$$

где n – число заземлителей;

a – расстояние между заземлителями.

Результирующее сопротивление (полосы и трубы) с учётом коэффициента использования труб $J_{\text{Э}}=0,85$ и полосы $J_{\text{П}}=0,86$ определяется по формуле:

$$R_c = \frac{R_{\text{Э}} \cdot R_{\text{П}}}{R_{\text{Э}} \cdot J_{\text{П}} + R_{\text{П}} \cdot J_{\text{Э}} \cdot n} = \frac{46,54 \cdot 7,26}{46,54 \cdot 0,86 + 7,26 \cdot 0,85 \cdot 9} = 3,54 \text{ Ом.}$$

Из расчета следует, что полученное значение сопротивления не превышает допустимого, а, следовательно, будет обеспечено полноценное заземление объекта, соответствующее ГОСТ 12.1.030-81.

4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специфическая опасность электроустановок: токоведущие проводники, корпуса и прочего оборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения (пробоя) изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые предупреждают человека об опасности. Реакция человека на электрический ток возникает лишь при протекании последнего через тело человека. Исключительно важное значение для предотвращения электротравматизма имеет правильная организация обслуживания действующих электроустановок, проведения ремонтных, монтажных и профилактических работ. При этом под правильной организацией понимается строгое выполнение ряда организационных и технических мероприятий и средств, установленных действующими “Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей” (ПТЭ и ПТБ потребителей) и “Правила установки электроустановок” (ПУЭ). В зависимости от категории помещения необходимо принять определенные меры, обеспечивающие достаточную электробезопасность при эксплуатации и ремонте электрооборудования. Так, в помещениях с повышенной опасностью электроинструменты, переносные светильники должны быть выполнены с двойной изоляцией или напряжение питания их не должно превышать 42 В. В особо опасных же помещениях напряжение питания переносных светильников не должно превышать 12 В. Работы без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них, работы

проводимые непосредственно на этих частях или при приближении к ним на расстояние менее установленного ПЭУ. К этим работам можно отнести работы по наладке отдельных узлов, блоков. При выполнении такого рода работ в электроустановках до 1000 В необходимо применение определенных технических и организационных мер, таких как:

- ограждения, расположенные вблизи рабочего места и других токоведущих частей, к которым возможно случайное прикосновение;
- работа в диэлектрических перчатках или стоя на диэлектрическом коврик;
- применение инструмента с изолирующими рукоятками, при отсутствии такого инструмента следует пользоваться диэлектрическими перчатками.

Работы этого вида должны выполняться не менее чем двумя работниками.

В соответствии с ПТЭ и ПТВ потребителям и обслуживающему персоналу электроустановок предъявляются следующие требования :

- лица, не достигшие 18-летнего возраста, не могут быть допущены к работам в электроустановках;
- лица не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе;
- лица должны после соответствующей теоретической и практической подготовки пройти проверку знаний и иметь удостоверение на доступ к работам в электроустановках.

Заключение

В соответствии с заданием в данном дипломном проекте выполнено проектирование автоматизированного электропривода для автоматической подачи топлива котла DEFRO КОМПАКТ MAX 200kW. .

В ходе проектирования проведен анализ технологического процесса, разработана система автоматического управления и модель электропривода, рассмотрены вопросы автоматизации установки и охраны труда, выполнено технико-экономическое обоснование проекта.

В результате проектирования был разработан автоматизированный регулируемый электропривод с преобразователем частоты со скалярным управлением. Произведен расчет и выбор асинхронного электродвигателя типа АИР63В2 с номинальной мощностью 0,55 кВт. Выбран преобразователь частоты Siemens 6SE70 7016.

Было произведено имитационное моделирование системы электропривода в программной среде Simulink, по результатам которого получили графики переходных процессов при регулировании на заданном диапазоне частот, обусловленного заданного диапазона регулирования согласно техническому заданию.

Также, в данном проекте произведено моделирование скалярного электропривода с использованием задатчика интенсивности, обеспечивающего плавность регулирования подачи воздуха.

Список использованных источников

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 560 с.
2. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно регулируемый электропривод. Издание 2-е переработанное и дополненное. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 648 с.
3. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Автоматизированный электропривод: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 224 с.
4. Лазарев Г.Б. Частотно-регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок // Силовая электроника. 2007. №3. – С.41-48.
5. Петров А.В., Татаринцев Н.И. Применение частотно-регулируемых приводов на питателях сырого угля // Автоматизация и современные технологии. – 2005. – №6.
6. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
7. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
8. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация
9. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
10. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)
11. ГОСТ 30735-2001 Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4,0 МВт

12. ППБ 01-93* «Правила пожарной безопасности в Российской Федерации».

13. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1).