

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

Институт Электронного обучения
Специальность Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
Кафедра Электропривода и электрооборудования

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Электрооборудования блочной кустовой насосной станции Северо-Останинская УДК 621.671:621.31:622.276.53(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3 - 7401	Епихин Евгений Геннадьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	Доцент, к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.			

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Дементьев Ю. Н.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-7401	Епихин Е.Г.

Тема работы:

Электрооборудования блочной кустовой насосной станции Северо-Останинская

Утверждена приказом директора (дата, номер)

28.03.2016, №2399/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

25. 06. 2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом проектирования является электрооборудования насоса. Исходными данными являются: подача-80, м³/ч., напор-70, м.

Сеть трёхфазная, 380 ± 10% В, 50 ± 1Гц.; Режим работы электропривода продолжительный, нагрузка реактивная, диапазон регулирования D=1: 10. Погрешность поддержания заданной частоты вращения ротора не более 10 % на нижней рабочей скорости.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

При проектировании и разработке электрооборудования электронасосного агрегата необходимо:

Из анализа литературных источников сформировать требования к системам электрооборудования электронасосных агрегатов, провести расчет максимальной потребляемой мощности, расчет и выбор элементов системы электрооборудования. Выбор блока управления электроприводом. Привести общую принципиальную схему системы электрооборудования электропривода электронасосного агрегата. В специальной части провести исследование неисправностей системы электрооборудования, Разработать разделы по технологической, экономической частям и рассмотреть вопросы экологии и техники безопасности.

Перечень графического материала

(с точным указанием обязательных чертежей)

Электрическая принципиальная схема электрооборудования электропривода центробежного насоса, структурная схема электропривода и его характеристики, технологическая карта по поиску неисправностей в системе электрооборудования.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Основной общий и специальный разделы ВКР	Руководитель дипломной работы Кладиев С.Н.
Экономическая часть ВКР	Трофимова М.Н.
Раздел экология и техника безопасности	Сечин А.А.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Основная и специальная части, экономическая часть и раздел экология и техника безопасности – русский язык

Должно быть написано на русском и иностранном языке. Заключение – иностранный язык

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

25. 01 . 2016 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф ЭПЭО	Кладиев С.Н.	Доцент, к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Епихин Е.Г.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСО-
СБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3 - 7401	Епихин Евгений Геннадьевич

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Сравнение экономической эффективности привода
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчет капиталовложений
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Расчет затрат на проектирование

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Расчет годовых эксплуатационных затрат
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	Годовые затраты на обслуживание и ремонт
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Линейный график проведения ПНР

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Трофимова М.Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Епихин Е.Г.		

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

Институт	Институт дистанционного образования
Направление подготовки (специальность)	Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
Уровень образования	Специалисты
Кафедра	ЭПЭО
Период выполнения	(весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Студенту:

Группа	ФИО
3-7401	Епихин Евгений Геннадьевич

Тема работы:

Расчет защитного заземления электрической подстанции БКНС Северо-Останинская	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	

Форма представления работы:

Дипломный проект (работа)
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»

1. Описание рабочего места оператора на предмет возникновения:
 - вредных проявлений факторов производственной среды (Микроклимат, освещение, шумы)
 - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, пожарной и взрывной природы)
 - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
 - физико – химическая природа фактора, его связь с разрабатываемой темой;
 - действие фактора на организм человека;
 - приведение допустимых норм с необходимой размерностью;
 - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности
 - механические опасности (источники, средства защиты)
 - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты);
 - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения);
3. Охрана окружающей среды:
 - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
 - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
 - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
4. **Защита** в чрезвычайных ситуациях:
 - перечень возможных ЧС на объекте;
 - выбор наиболее типичной ЧС;
 - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
- Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:
 - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
 - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Перечень расчётного и графического материала

- Расчет искусственного заземления
- Схема искусственного заземления
- Схема расположения электродов в ряд

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А. А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Епихин Е.Г.		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	11
1. Технологическая часть	12
1.1 Технологический процесс блочной кустовой насосной станции	12
1.2 Основные технические характеристики насоса 1К100-65-250	15
1.3 Обоснование применение частотно-регулируемого электропривода	16
2. Выбор приводного двигателя	17
2.1 Выбор приводного двигателя и определение его расчетных параметров	17
2.2 Проверка расчетных параметров двигателя	18
2.3 Расчет естественных характеристик электродвигателя	19
2.3.1 Расчет естественной механической характеристики	19
2.3.2 Расчет естественной электромеханической характеристики	20
2.3.3 Механическая характеристика насоса	22
2.4 Способы регулирования и систем управления электропривода	23
2.5 Выбор закона частотного регулирования	25
2.6 Выбор ПЧ	25
3 Расчет статических характеристик системы преобразователь - двигатель при частотном регулировании	28
3.1 Механические характеристики системы преобразователь - двигатель при законе регулирования $\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}$	29
3.2 Электромеханические характеристики системы преобразова-	32

тель - двигатель при законе регулирования $\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}$	
4 Электропривод по системе ПЧ- АД со скалярным управлением	34
4.1 Функциональная схема системы скалярного частотного управления	39
4.2 Имитационные исследования частотно – регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением	44
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсобережение	49
6.1 Организация пусконаладочных работ	49
6.2. Сметная стоимость пусконаладочных работ	53
6.2.1 Расчет стоимости материалов и комплектующих	53
6.2.2 Расчет стоимости оборудования	54
6.3.3 Расчет расходов на оплату труда	55
6.3.4 Сметная стоимость на проведение пусконаладочных работ	59
6.4 Расчет расходов при эксплуатации электропривода насоса	60
6.4.1 Расчет стоимости силовой электроэнергии	60
6.4. 2 Расчёт амортизационных отчислений	61
6.4.3 Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов	61
6.5 Определение экономической эффективности проекта	62
7 Социальная ответственность	63
7.1 Ведение	63
7.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов	64
7.3 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровня опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих	66

7.3.1 1Состояние воздушной среды (микроклимат)	66
7.3.2 Освещенность	67
7.3.3 Шум	68
7.4 Техника безопасности	69
7.4.1 Механический фактор	70
7.4.2 Электробезопасность	71
7.5 Расчёт защитного заземления. Теория расчёта заземления	74
7.5.1 Расчёт искусственного заземления	86
7.6 Экологическая безопасность	89
7. 7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	93
7.7.1Пожарная и взрывная безопасность	93
Заключение	96
Список используемых источников	98

Реферат

Выпускная квалификационная работа с., рисунков, таблиц, источника.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, скалярное управление, центробежный насос, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, преобразователь частоты.

Объектом исследования является частотно-регулируемый электропривод переменного тока дренажного насоса блочной кустовой насосной станции.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование асинхронного электропривода насоса.

В результате исследования была разработана система регулирования электропривода насосного агрегата.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ MATLAB, Mathcad 14, в текстовом редакторе MS Word и представлена на компакт - диске (в конверте на обороте обложки).

Введение

В последнее время наблюдается устойчивая тенденция к переходу от нерегулируемого асинхронного электропривода (АЭП) к регулируемому электроприводу. Преимущества, обеспечиваемые регулируемым электроприводом: улучшение качественных характеристик технологических процессов и выпускаемой продукции, возможность автоматизации производства, обеспечение энергосбережения и ресурсосбережения.

Насосы потребляют примерно 25% электрической энергии. В наше время большая часть насосных агрегатов работают неэкономично. Потери электроэнергии составляют 11-26%, потребляемой электроэнергии.

Для снижения потерь электроэнергии в насосных станциях целесообразно применение экономных способов регулирования.

В данной выпускной квалификационной работе была разработана асинхронного электропривода насоса в системе поддержания давления в нефтяном пласте методом закачивания пластовой и сточной воды.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Технологический процесс БКНС



Рисунок 1.1 - Здание блочной кустовой насосной станции

Наибольшим эффектом извлечения нефти характеризуются водонапорные режимы. Естественный водонапорный режим обеспечивается далеко не на каждом месторождении. Поэтому создается искусственный водонапорный режим, в связи с этим и был создан участок поддержания пластового давления НГКМ «Северо-Останинского» месторождения. Основная задача - поддержание пластового давления, повышение нефтеотдачи пластов. К сооружениям для нагнетания воды в пласт относят водоводы пластовой воды, блочные кустовые насосные станции (БКНС), изготовленные на базе центробежных агрегатов. В состав БКНС также входят - блок вспомогательных насосов, электроподстанция и блок гребенки (БГ), водоводы высокого давления от БКНС до блока водораспределительных гребенок, расположенных на кустах скважин, высоконапорные водоводы от БГ до скважины, устьевое и подземное оборудование скважины.

Блочно кустовая насосная станция состоит из блоков: насосный; блок управления; низковольтной аппаратуры; распределительное устройство. насосов может быть 2, 3 и 4, один из которых – резервный.



Рисунок 1.2 – Вид БКНС внутри

На рисунке 1.3 показана функциональная схема БКНС, которая работает таким образом.

От магистрального водопровода 1 вода поступает в подземный резервуар 2, из них по трубе 3 через задвижки 4 подается центробежными насосами 5, которые управляются двигателями 6. Через насосы и управляемые задвижки 7, вода попадает в коллектор 8, из которого через задвижки 9 и расходомеры 10 она подается в колодцы распределения, а потом в скважины. Для очистки подземного забора скважин, закрывается задвижка 9 и открывается задвижка 11 и грязную воду сбрасывают в пруды-испарители 12.

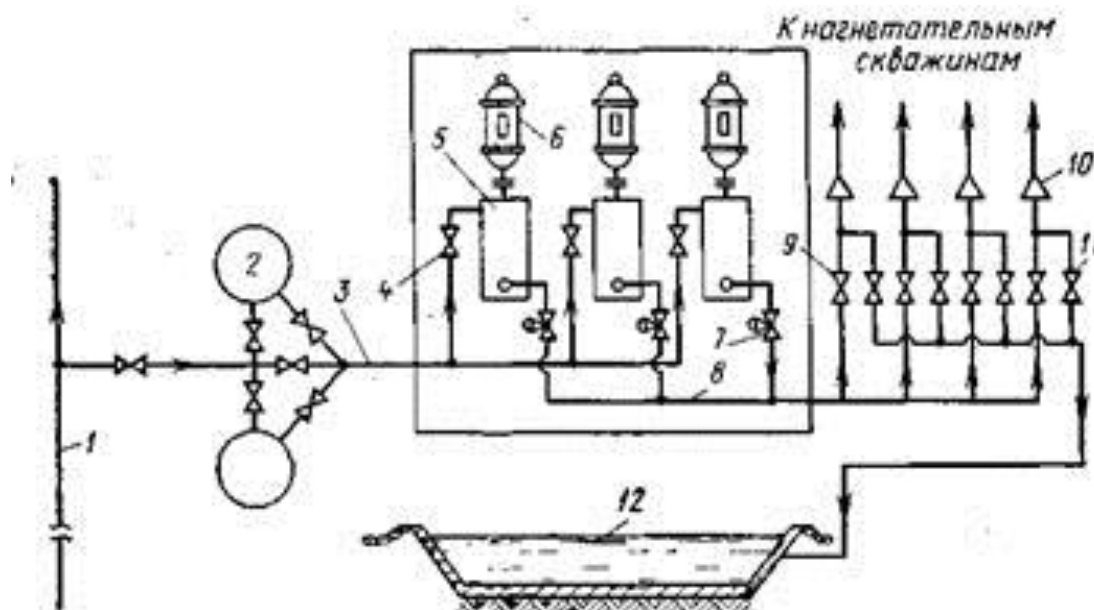


Рисунок 1.3 – Функциональная схема БКНС

Управление технологическим процессом возможно как в ручном, так и в автоматическом режиме. Автоматизация БКНС предусматривает присутствие обслуживающего персонала, т.к. вывод технологической установки на режим и изменение процесса производится машинистом по закачке рабочего агента в пласт.

В БКНС предусмотрен автоматический контроль за состоянием насосных агрегатов, который включает:

1. непрерывный контроль и отклонение агрегатов при достижении предельного значения температуры подшипников двигателя, насоса, температуры гидропаты, масла на охлаждение подшипников;
2. отключение агрегата при падении давления воды на выходе насоса ниже уставки;
3. отключение агрегата при падении давления воды на входе в агрегат;
4. отключение агрегата при падении давления масла ниже уставки;
5. отключение агрегата при исчезновении напряжения в цепях КИП;

6. индикация срабатывания вышеперечисленных параметров, а также срабатывания электрической защиты, отключение агрегата аварийной кнопкой, положение выкидной электрозадвижки, состояние агрегата;
7. автоматическое закрытие выходной электрозадвижки при отключении агрегата от технологической или электрической защиты;
8. местное и дистанционное управление выходной электрозадвижкой;
9. местный контроль давления;
10. дистанционный контроль температуры подшипников насосных агрегатов;
11. дистанционный контроль расхода воды в ВРБ по направлению.

В данной работе разрабатывается регулируемый электропривод насоса вспомогательных дренажных насосов типа 1K100-65-250.

1.2 Основные технические характеристики насоса 1K100-65-250

1K100-65-250 – горизонтальный электронасосный агрегат с центробежным консольным насосом для закачивания воды (за исключением морской), и других жидкостей похожие с водой по плотности, вязкости, химической активности с температурой от минус 9 до 104°C, РН=6,1.....9, с содержанием твердых включений не более одного процента по массе, размером не более 0,3 мм. Материал основных частей – серый чугун.

На рисунке 1.4 показан насос марки 1K100-65-250



Рисунок 1.4 –Насос марки 1К 100-65-250

В таблице 1.1 показаны параметры насоса 1К 100-65-250

Таблица 1.1 – параметры насоса насоса 1К 100-65-250

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. измерения
Подача насоса	Q	80	м ³ /ч
напор	H	70	м
частота вращения	n _{нас.макс}	2900	об/мин

1.3 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода

В системах, обеспечивающих режимы работы насосов, управление производится посредством регулируемого электропривода. В этих системах регулируемым параметром является напор жидкости.

Для стабилизации напора жидкости при уменьшении ее расхода, напор жидкости увеличивается, тогда скорость вращения электродвигателя насоса под действием системы регулирования должна уменьшаться. И наоборот, при увеличении расхода жидкости, напор в трубе падает, а скорость враще-

ния должна увеличиваться. Задачей является в поддержании напора жидкости на заданном уровне.

Режим работы насосов является режим с большим числом часов работы, длительной нагрузки с малым числом включений в час. На валу приводного двигателя нагрузка стабильная. Диапазон регулирования скорости вращения не превышает, обычно, 10. Нагрузка на валу механизма имеет «вентильный» характер, т.е. момент сопротивления на валу насоса пропорционален кубу скорости. Электропривод насоса должен хорошо работать в условиях повышенной влажности и возможных высокой температуры, а также иметь большую степень надежности. Для таких условий работы наиболее предпочтительным является асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (АД КР), питающийся от преобразователя частоты (ПЧ).

АД КР характеризуется простотой, надежностью, отсутствием щеточных контактов, низкой стоимостью, а современные ПЧ позволяет получить точное и плавное регулирование скорости АД КР. На основе этих данных, можно сформулировать следующие требования к электроприводу, которые он должен обеспечивать:

- полный диапазон регулирования скорости 10: 1;
- перегрузочную способность 1,5;
- плавный пуск привода насоса с разгоном до заданной скорости;
- климатическое исполнение УХЛ4 ;
- степень защиты IP55.

2 ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА

2.1 Выбор приводного двигателя и определение его расчётных параметров

Определяем мощность насоса по формуле [2]

$$P_{нас} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_{нас}} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 80 \cdot 70}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,7} = 21,8 \text{ кВт},$$

где $Q = 80 \text{ м}^3/\text{ч}$

$H = 70 \text{ м}$

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$

$\eta_{\text{нас}} = 0,7$

Выбираем мощность двигателя с учетом необходимого запаса

$$P_{\text{дв}} = \frac{k \cdot P_{\text{н}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{1,3 \cdot 21,8}{0,9} = 31,5 \text{ кВт},$$

Исходя из экономических соображений, безопасности и надежности выбираем двигатель переменного тока, номинальным напряжением 380 В, номинальная частота вращения ротора 2940 об/мин. Двигатель должен быть выполнен в исполнение IP55, способ охлаждения-закрытая самовентилируемая система. Такой машиной является асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором АИР 200М2У2, для которого выполняются условия:

$$P_{\text{дв.н}} = 37 \text{ кВт} \geq P_{\text{дв}} = 31,5 \text{ кВт}, \text{ и}$$

$$n_{\text{дв.н}} = 2940 \text{ об/мин} \geq n_{\text{н}} = 2900 \text{ об/мин}$$

Технические характеристики двигателя АИР 200М2У2 приведены в табл. 2.1. [3].

Таблица 2.1 – Технические характеристики двигателя

Тип двигателя	n_0 , об/мин	$U_{\text{н}}$, В	$P_{\text{двн}}$, кВт	Номинальной нагрузка			$J_{\text{дв}}$, кг · м ²
				$s_{\text{н}}$, %	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$\eta_{\text{н}}$, %	
АИР 200М2У2	3000	380	37	2	0,9	93	0,14
$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{м}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{н}}}$		$k_{\text{идв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}$		Степень защиты	
2,3	3,0	1.6		7,4		IP55	

2.3 Расчет естественных характеристик электродвигателя

2.3.1 Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика $\omega(M)$ АД определяется для частоты $f_{и}=f_{1н}=50$ Гц по формуле

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{101}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{\hat{e}1})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}}\right)^2 \right]}.$$

Естественная механическая характеристика $\omega(M)$ (рис. 2.3), рассчитана по программе *Mathcad* (рис. 2.3), причем $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

Номинальное значение электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.н}}$ определяется по выражению

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\hat{y}1.1}(s_1) = \dot{I}_{\hat{y}1.1} &= \frac{3 \cdot U_{101}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_1 \cdot \left[(X_{\hat{e}1})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_1}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_1 \cdot X_{\mu}}\right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,068}{314 \cdot 0,02 \cdot \left[0,49^2 + \left(0,124 + \frac{0,068}{0,02}\right)^2 + \left(\frac{0,124 \cdot 0,068}{0,02 \cdot 11,6}\right)^2 \right]} = 124,3 \text{ А}. \end{aligned}$$

Значение критического скольжения

$$s_K = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}}\right)^2}{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0,068 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,124}{11,6}\right)^2}{0,124^2 + 0,49^2}} = 0,135.$$

Значение момента критического

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}(s_K) = M_{\text{эм.к}} &= \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2}{\omega_0 \cdot 2 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{X_{\mu}}\right)^2} \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2}{314 \cdot 2 \cdot \left[0,124 + \sqrt{(0,124^2 + 0,49^2) \cdot \left(1 + \frac{0,124}{11,6}\right)^2} \right]} = 367,3 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

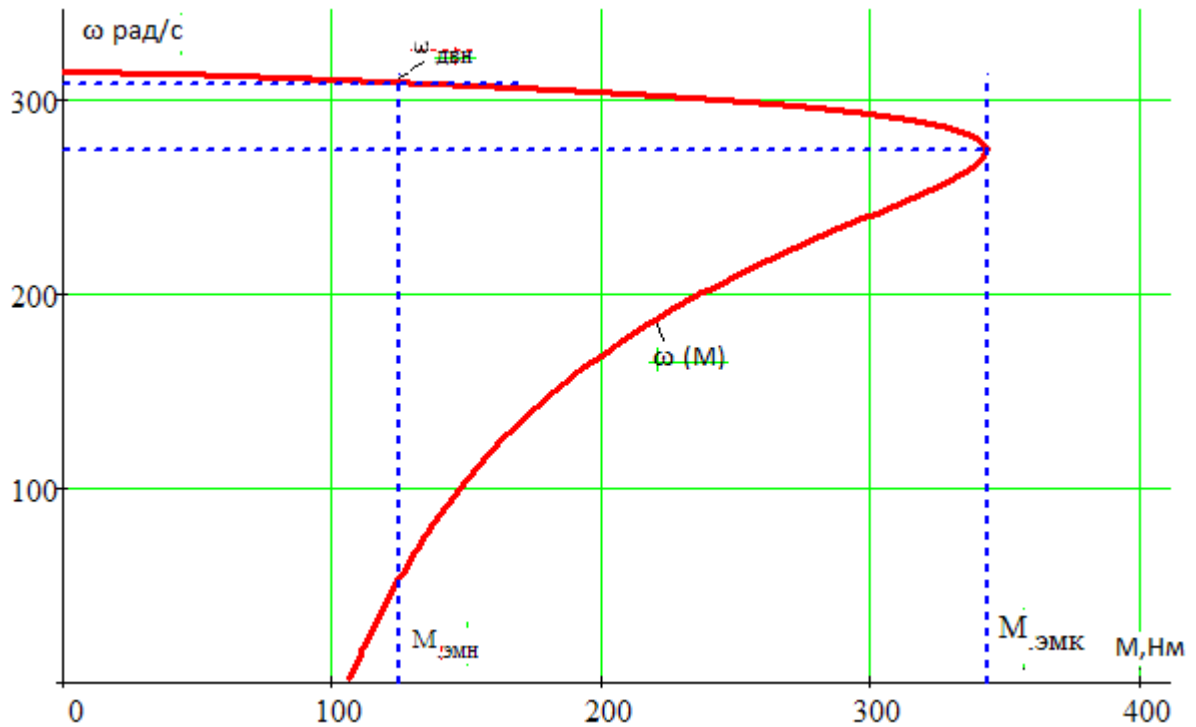


Рисунок 2.3 – Естественная механическая характеристика АД

2.3.2 Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ АД определяется для частоты $f_{\text{и}} = f_{1\text{н}} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \quad (2.1)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\delta i}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{\hat{e}i})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}})^2}}; \quad (2.2)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\hat{e}i}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{\hat{e}i})^2}}. \quad (2.3)$$

По выражениям 2.1 - 2.3 для скольжений $s = s_{\text{н}}$ и $s \rightarrow 0$ рассчитываются величины тока статора $I_1(s_{\text{н}})$ и тока холостого хода I_0

$$I_0 = \frac{U_{1\phi_H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,124^2 + (0,206 + 11,6)^2}} = 18,6 \text{ A},$$

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

$$= \sqrt{18,6^2 + 61,1^2 + 2 \cdot 18,6 \cdot 61,1 \cdot 0,152} = 66,3 \text{ A},$$

где

$$I_2'(s_H) = \frac{U_{1\phi_H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu})^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{(0,124 + \frac{0,068}{0,02})^2 + (0,49)^2 + (\frac{0,124 \cdot 0,068}{0,02 \cdot 11,6})^2}} = 61,1 \text{ A};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\hat{e}1}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_1})^2 + (X_{\hat{e}1})^2}} = \frac{0,486}{\sqrt{(0,162 + \frac{0,066}{0,02})^2 + (0,486)^2}} = 0,152;$$

По полученным расчетам строятся естественные электромеханические характеристики токов и ротора $I_2' = f(\omega)$ и статора $I_1 = f(\omega)$, которые изображены на рисунке 2.4.

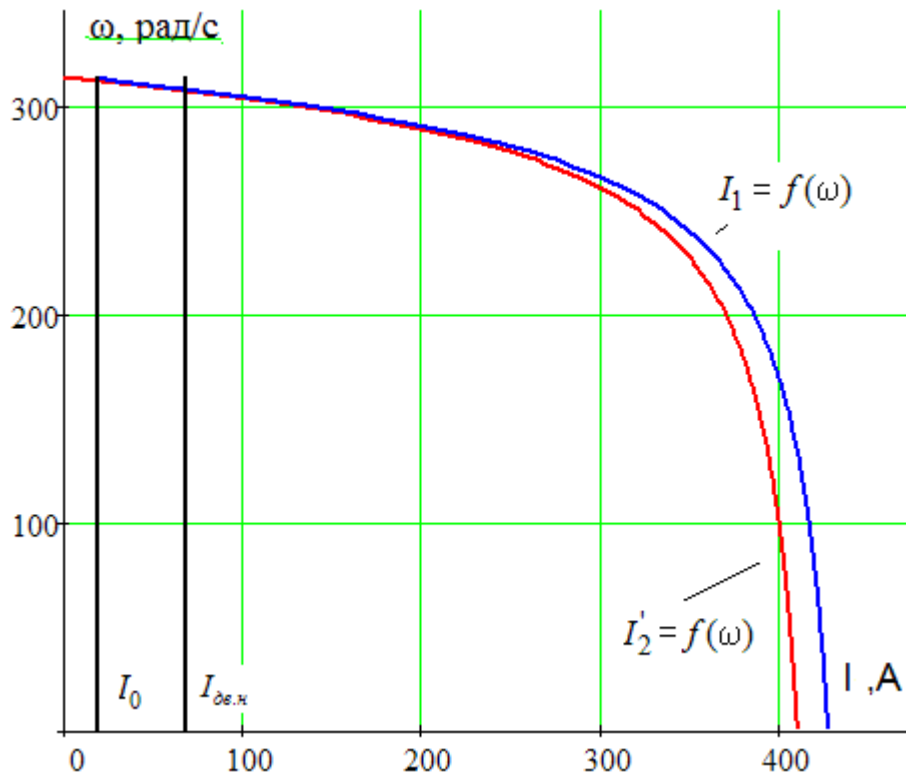


Рисунок 2.4 – Электромеханические характеристики АД

После сравнения значений величин в характерных точках естественных характеристик АД с его техническими данными, приведенными в таблице 2.1, сделаем выводы.

2.3.3 Механическая характеристика насоса

Момент сил трения на валу АД принимаем постоянным:

$$\Delta M_{\text{н.д.}} = M_{\text{в.д.}} - M_{\text{а.д.}} = 124,4 - 120 = 4,4 \text{ Нм.} \quad (2.4)$$

Известно, что напор, развиваемый насосом имеет кубическую зависимость от скорости АД, тогда статический момент на АД $M_c(\omega)$ изменяется в функции от скорости АД по выражению [8]

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\text{н}}(\omega) &= \Delta M_{\text{н.д.}} + (\dot{I}_{\text{н.д.}} - \Delta M_{\text{н.д.}}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{а.д.}}} \right)^3 = \\ &= 4,4 + (124,4 - 4,4) \cdot \left(\frac{\omega}{307,88} \right)^3, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где $\dot{I}_{\dot{n}\dot{i}\dot{a}\dot{n}} = M_{\dot{y}\dot{i}} = 124,4 \text{ Нм}$ - момент нагрузки

$$\omega_{\text{дв.н}} = 307,88 \text{ рад/с}$$

На рис. 2.5 показаны механическая характеристика АД и статического момента $\dot{I}_{\dot{n}}(\omega)$ на АД, соответствующая механической характеристике насоса.

Принимаем момент инерции насоса $J_{\dot{i}\dot{a}\dot{n}} = J_{\dot{a}\dot{a}} = 0,14 \text{ кг м}^2$, тогда момент инерции электропривода $J_{\dot{y}} = J_{\dot{a}\dot{a}} + J_{\dot{i}\dot{a}\dot{n}} = 0,14 + 0,14 = 0,28 \text{ кг м}^2$.

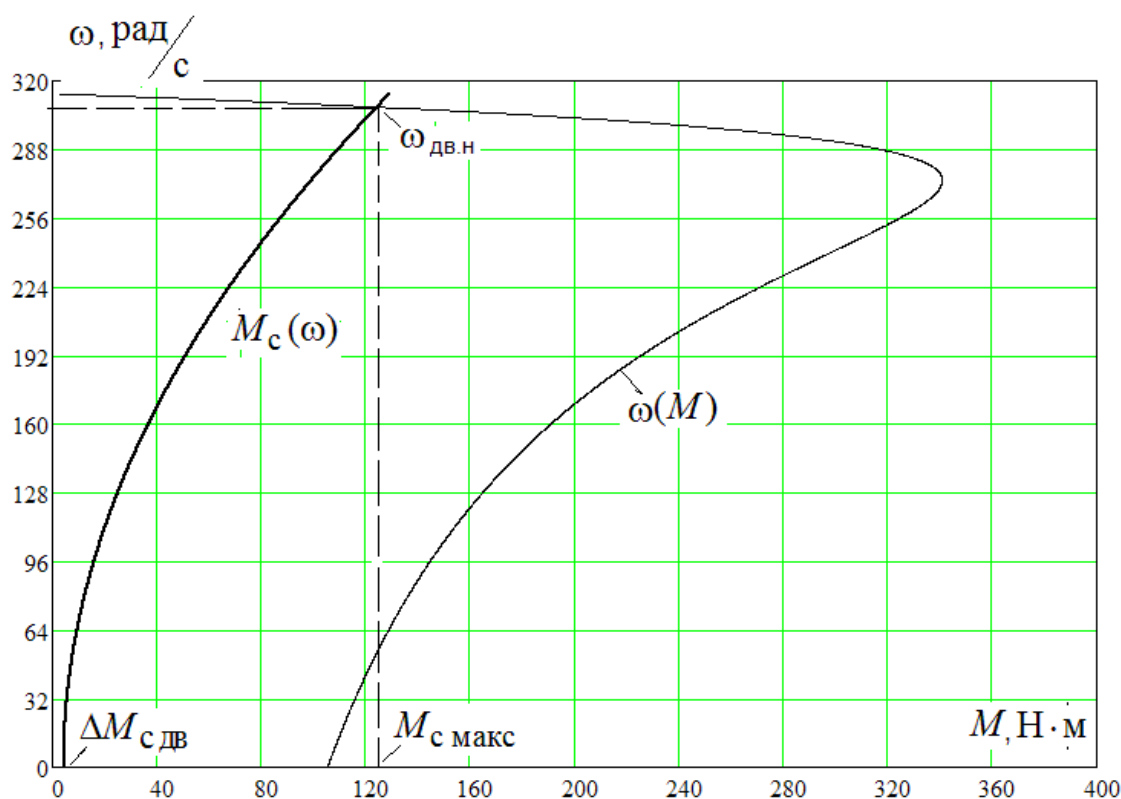


Рисунок 2.5 – Естественная механическая характеристика АД $\omega(M)$ и характеристика полного момента сопротивления насоса $M_c(\omega)$

2.4 Способы регулирования и система управления электропривода

Многие зарубежные электротехнические фирмы выпускают регулируемые автоматизированные электроприводы (РАЭП) с микропроцессорными устройствами в виде свободно программируемых модулей, позволяющих широко их использовать. Поэтому для максимального повышения эффектив-

ности работы и производительности насосного оборудования, проектирование РАЭП насоса, сделанного в общепромышленном исполнении, заключается в решении задачи выбора закона управления электроприводом для повышения эффективности работы технологического оборудования.

Существуют два основных принципа управления в системе ПЧ-АД: система скалярного управления и система векторного регулирования электроприводом насосной установки.

Выбор принципа управления ПЧ-АД обосновывается требованиями к показателям качества регулирования: диапазону регулирования скорости, плавности регулирования, статической точности поддержания заданной скорости на нижней характеристике. Необходимо также учесть динамических показателей качества регулирования скорости: перерегулирование, быстродействие, и др. На выбор системы управления электроприводом также влияет характер нагрузки, который создается рабочим механизмом.

Управление электродвигателями от ПЧ осуществляется двумя основными способами [7].

Способ скалярного управления ПЧ-АД является наиболее простой и распространенным. Этот способ характеризуется технической простотой при измерении и регулировании абсолютных значений параметров АД. Управление скоростью производится по характеристике, связывающей напряжение и частоту статора АД: т.е. по U/f – характеристике. В статических режимах при скалярном управлении за счет обратных связей по току и скорости можно получить желаемые свойства электропривода. Скалярное управление используется в электроприводах, в которых отсутствуют высокие требования к динамическим и статическим показателям.

Системы векторного управления ПЧ-АД основываются на представлении физических переменных АД пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули, так и их положение в пространстве. Регулированием модулей векторных величин и углов между ними можно обеспечить

регулирование координат и в статике и в динамике. В системах векторного управления АД обеспечивается лучшее качество регулирования по сравнению со скалярным управлением. Кроме того, системы векторного управления ПЧ-АД позволяют получить диапазон регулирования скорости до 1:1000. Поэтому это является главным фактором когда мы выбираем систему с векторным управлением ПЧ-АД, в которых требуется высокая статическая точность и высокая динамика. Приводы механизмов насосы не относятся к высоко динамичным и не требуют большого диапазона регулирования.

В приводах насосов требуемый диапазон регулирования скорости не больше 1:10 и не высокие требования к динамическим характеристикам целесообразно применение скалярного способа частотного управления по системе ПЧ-АД [7].

2.5 Выбор закона частотного регулирования

Выбор закон регулирования частоты при скалярном управлении, зависит от вида нагрузки механизма. Для механизмов с нагрузкой не зависящей от скорости выбирается закон управления $U_1/f_1 = \text{const}$, для механизмов с «вентиляторной» нагрузкой выбирается закон $U_1/f_1^2 = \text{const}$ [9].

Закон $U_1/f_1^2 = \text{const}$ более сложен в реализации, но за счет понижения напряжения уменьшается потребляемая электроэнергия.

2.6 Выбор ПЧ

Для регулируемого асинхронного электропривода насоса выбираем преобразователь компании ВЕСПЕР серии EI-P7012. Это модель ПЧ специально разработана для применения в насосах, т.к. они имеют дело с переменной нагрузкой. Эта модель отличается дополнительными функциональными возможностями, меньшими массогабаритными параметрами.

В соответствии с условием для номинального тока инвертора $I_{ин}$ преобразователя частоты

$$I_{ин} \geq I_{лн} = 68 \text{ А.}$$

Технические характеристики ПЧ компании ВЕСПЕР серии EI-P7012 показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики ПЧ серии EI-P7012

Модель	Число фаз	Напряжение питания, В	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт	Номинальный ток, А	Максимальный ток, А	Степень защиты
EI-P7012	3	380-500	37	76	120	IP56

Общие технические данные преобразователя частоты серии компании ВЕСПЕР серии EI-P7012 представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристики ПЧ серии EI-P7012

Напряжение питающей сети	3 фазы, 380 В (-15%....+10%)
Частота сети, Гц	50 (-15%....+10%)
Коэффициент мощности (не менее)	0.93
Максимальная выходная частота, Гц	400
Характеристики перегрузки	120 % от номинального значения в течение 120 с
Способ управления	линейная зависимость U/f, квадратичная зависимость U/f ² , программируемая зависимость U/f
Диапазон регулирования в разомкнутой системе	1:100
Вид регулятора для управления процессом с замкнутой обратной связью	ПИД
Виды защит	Низкое напряжение, Перенапряжение, Перегрузка по току, Перегрузка по мощности, Короткое замыкание, Перегрев двигателя, Перегрев преобразователя
Аналоговые входа	2 (программируемый 4..20 мА, 0..5 мА, 0..10 В)

Количество дискретных выходов	4 релейных выхода
Тип дискретного выхода	2 выхода переключающего типа 2 выхода нормально разомкнутого типа
Дискретные входы с выбором логики (PNP или NPN)	6

Продолжение таблицы 2.3

Количество дискретных входов	8
Тип дискретного входа	24 В, входное сопротивление: около 4 кОм, РТС датчик, переключение при сопротивлении 3 кОм/1,8кОм, аварийный стоп
Ускорение и замедление	S-образные темпы разгона/торможения, линейная настраиваемая
Физический интерфейс	2- проводной RS-485 для Modbus
Уровень защиты	IP21
температура окружающей среды	От -20°C до + 40°C
температура хранения	От 0°C до + 40°C
допустимая относительная влажность (без образования конденсата)	80%

Внешний вид ПЧ компании ВЕСПЕР серии EI-P7012 показан на рисунке 2.6 [4].



Рисунок 2.6 – Преобразователи частоты компании ВЕСПЕР серии EI-P7012

Схема подключения преобразователя частоты приведена на рисунке 2.7 [4].

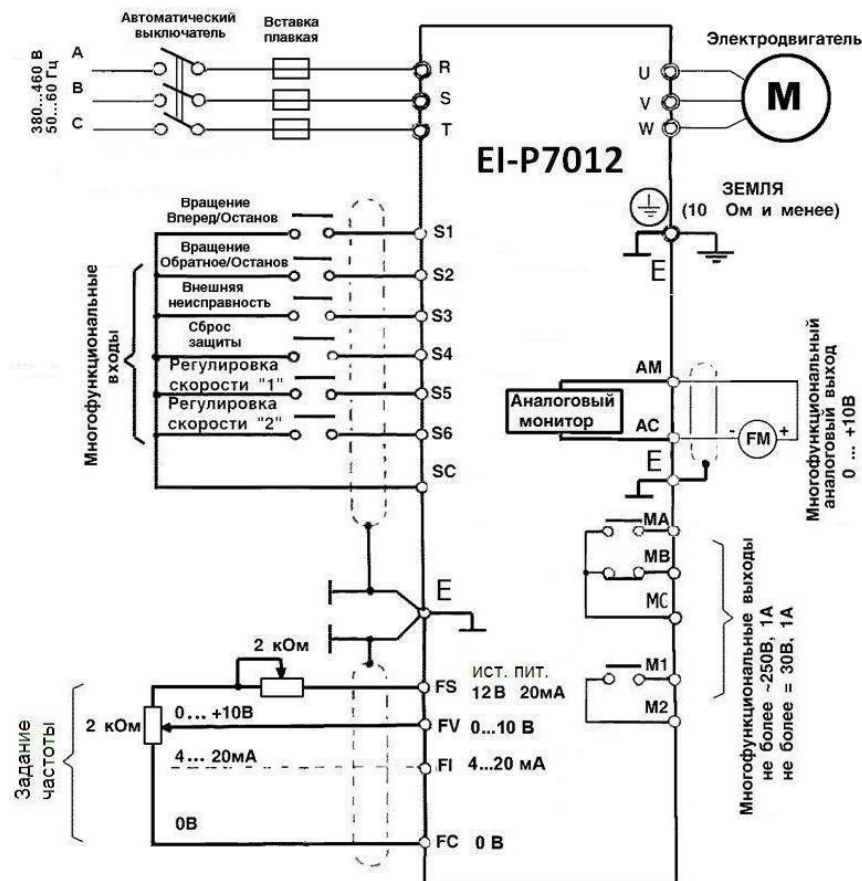


Рисунок 2.7 – Схема подключения преобразователя частоты

3 Расчет статических характеристик системы ПЧ – АД при частотном регулировании

Вольт - частотная характеристика ПЧ при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, рассчитанная по формуле [6]

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2, \quad (3.1)$$

приведена на рис. 3.1 (характеристика 1).

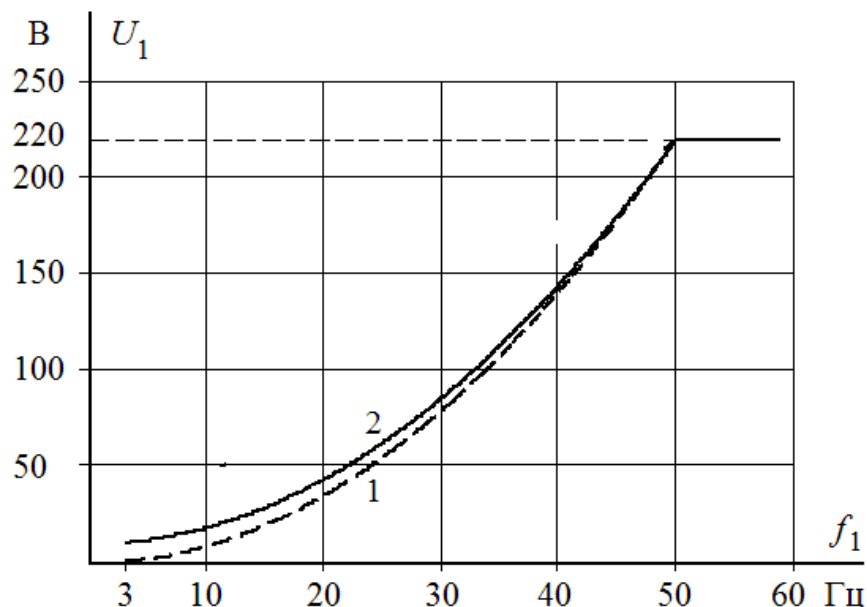


Рисунок 3.1 – Вольт-частотная характеристика преобразователя: 1 - при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ в соответствии с (3.1); 2 - при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ после коррекции

Максимальная частота ПЧ, соответствует номинальному напору насоса и ее определяем из условия равенства номинальной скорости АД :

$\omega_{\text{дв.н}} = 307,88 \text{ рад/с}$. Принимаем максимальное значение частоты ПЧ равной:

$f_{\text{и макс}} = f_{\text{ин}} = 50 \text{ Гц}$. Принимаем минимальную частоту ПЧ $f_{\text{и мин}} = 5 \text{ Гц}$ из

условия выполнения необходимого диапазона регулирования скорости 1:10.

3.1 Механические характеристики системы ПЧ - АД при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$

Для избранных значений частоты ПЧ : $f_{\text{ин1}}=50 \text{ Гц}$; $f_{\text{ин2}}=30 \text{ Гц}$; $f_{\text{ин3}}=15 \text{ Гц}$; $f_{\text{ин4}}=5 \text{ Гц}$ рассчитываются в среде *Mathcad* по выражениям [6]:

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

$$= \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot 0,068}{314 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot s \cdot \left[\left(0,49 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,124 + \frac{0,068}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,124 \cdot 0,068}{s \cdot 11,6 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]} \quad , (3.2)$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\Phi_H} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 ;$$

$$\omega(s, f_1) = 314 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1-s).$$

.

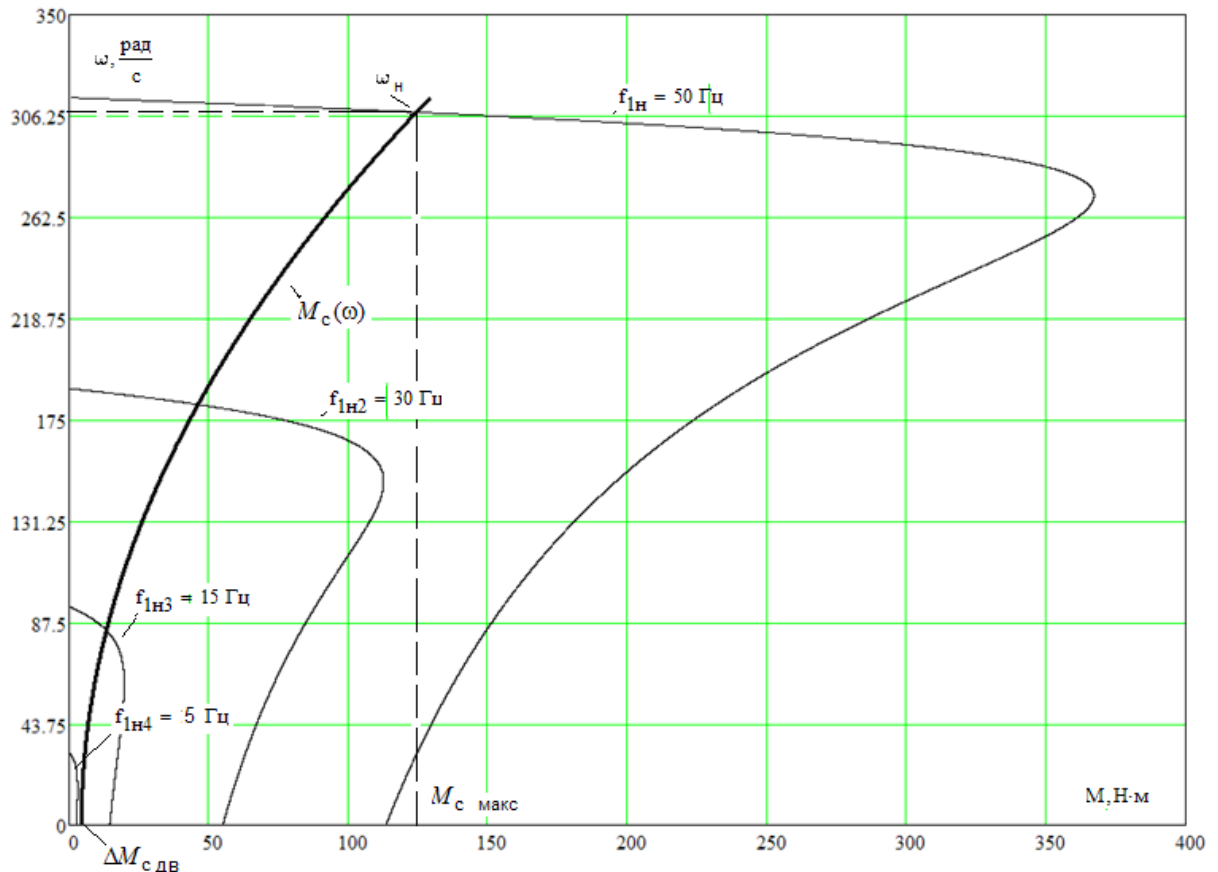


Рисунок 3.2 – Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$:
 $\Delta \dot{I}_{\text{н.дв}} = 4,4 \text{ А} \cdot \text{с}$; $\dot{I}_{\text{н.дв}} = 120 \text{ А} \cdot \text{с}$

Для получения как минимум двукратного пускового момента на частоте $f_{\text{и.мин}} = 5 \text{ Гц}$ был произведен выбор параметров начального участка вольт-частотной характеристики ПЧ. Были получены следующие параметры (рис. 3.1): $U_{1\text{н.дв}} = 7 \text{ В}$, $f_{\text{и.мин}} = 5 \text{ Гц}$.

Таким образом, вольт-частотная характеристика описывается формулой

$$U_1(f_1) = U_{1\text{н.дв}} + (U_{1\text{дв}} - U_{1\text{н.дв}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н.дв}}} \right)^2 = 7 + (220 - 7) \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 \quad (3.3)$$

и показана на рис. 3.1 (характеристика 2).

Механические характеристики системы ПЧ-АД, рассчитанные по формуле (3.2) с учетом скорректированной вольт-частотной характеристики (3.3), показаны на рис. 3.3.

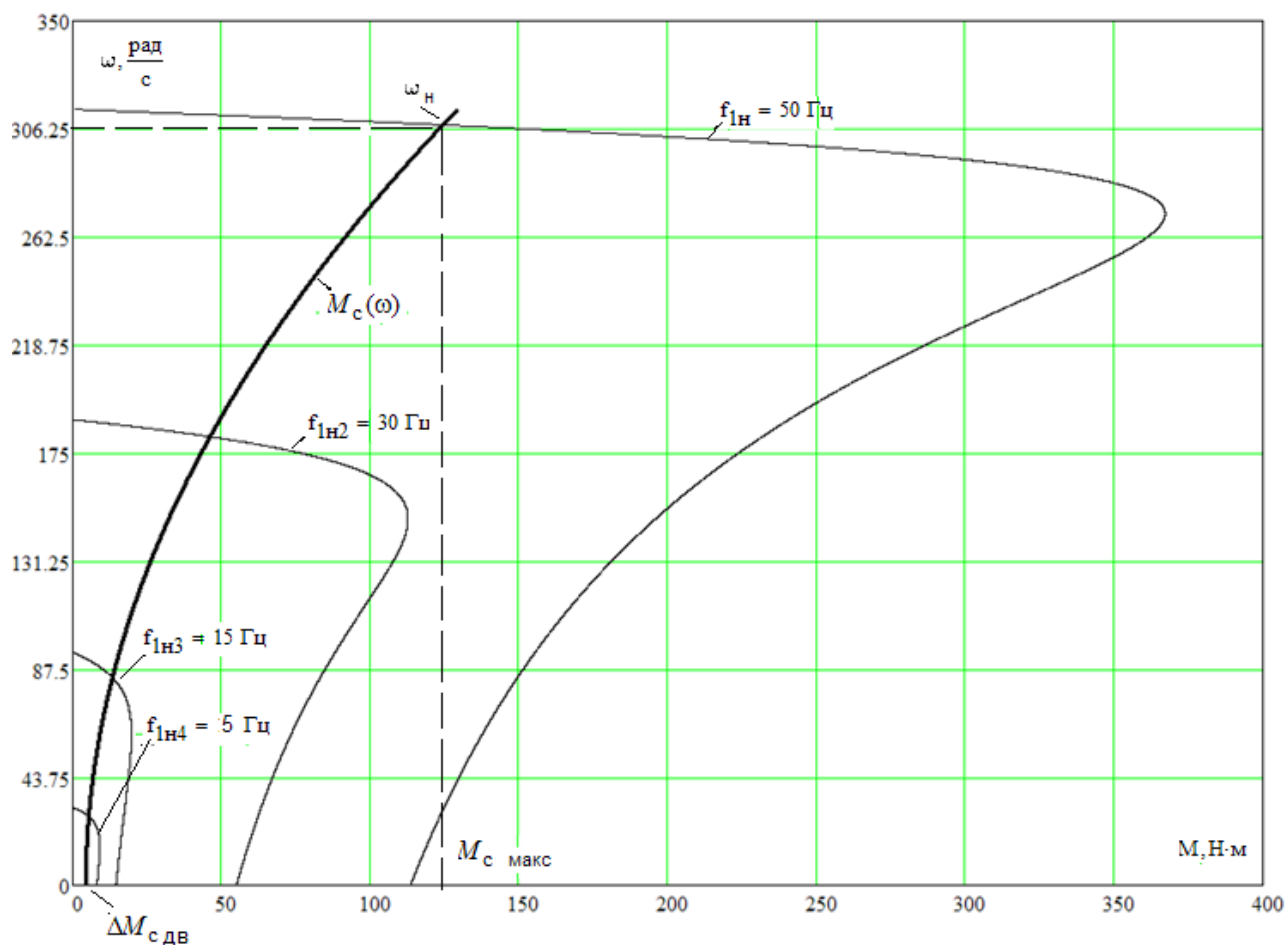


Рисунок 3.3- Механические характеристики $\omega(M)$ системы ПЧ-АД при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (3.3)

3.2 Электромеханические характеристики системы ПЧ-АД при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ системы ПЧ-АД коррективке вольт-частотной характеристики ПЧ по (3.3) рассчитываются по выражениям [6]:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)}; \quad (3.4)$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,083^2 + (0,194 + 7,6)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}}; \quad (3.5)$$

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

$$= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(0,124 + \frac{0,068}{s}\right)^2 + \left(0,49 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,124 \cdot 0,068}{s \cdot 11,6 \cdot \frac{f_1}{50}}\right)^2}}; \quad (3.6)$$

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

$$= \frac{0,49 \cdot \frac{f_1}{50}}{\sqrt{\left(0,124 + \frac{0,068}{s}\right)^2 + \left(0,49 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2}}, \quad (3.7)$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1i \hat{e}i} + (U_{1\hat{o}i} - U_{1i \hat{e}i}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1i}}\right)^2 = 7 + (220 - 7) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2,$$

$$\omega(s, f_1) = 314 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1 - s).$$

На рис. 3.4 приведены результаты расчетов электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ системы ПЧ-АД.

На рис. 3.3 показана характеристика момента нагрузки насоса $M_c(\omega)$, и на рис. 3.4 соответствующая ей $I_{1c}(\omega)$, рассчитанная по формулам (3.4) – (3.7) для частот $f_1 = f_{1H1} \div f_{1H4}$ при значениях скольжения s , определенных путем совместного решения уравнений для механических характеристик двигателя и нагрузки

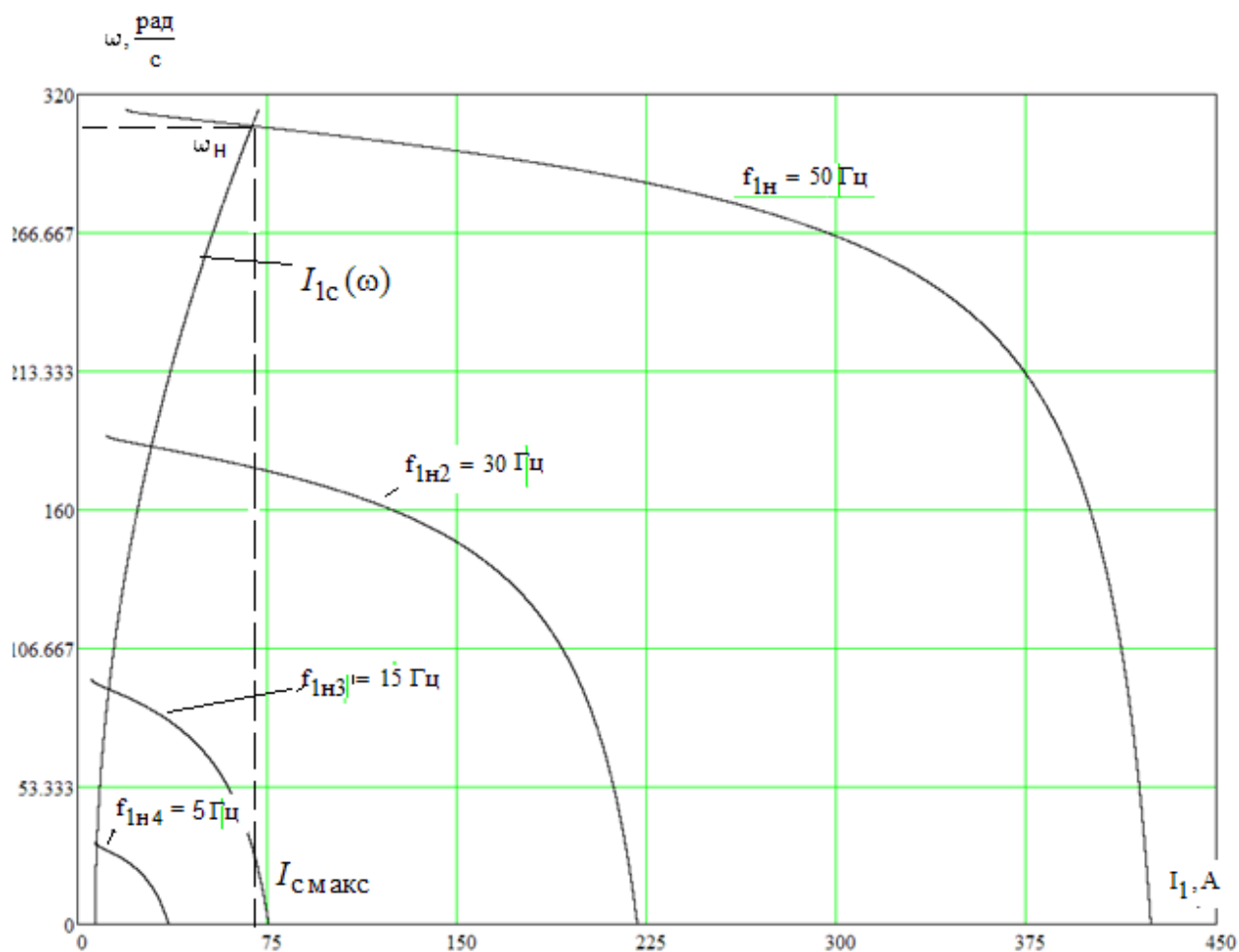


Рисунок 3.4 – Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$ при скалярном управлении после настройки вольт-частотной характеристики в соответствии с (3.3)

4 Электропривод по системе ПЧ- АД со скалярным управлением

В силовой канал системы ПЧ-АД входят [6]:

- ПЧ, выполняющий функцию электрического преобразователя;

- АД, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, выполняющая механическое преобразование энергии.

Решение задач анализа регулируемых электроприводов, построенных на базе ПЧ-АД с скалярным управлением используем двухфазную модель АД, построенную в неподвижной двухфазной системе координат α и β . На рисунке 4.1 приведена структурная схема силового канала непрерывной линейаризованной системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат. Входными воздействиями на схеме являются составляющие напряжения управления ПЧ $U_{уп.\alpha}$ и $U_{уп.\beta}$, а выходной координатой – скорость двигателя ω . На структурной схеме имеются следующие координаты:

$U_{1\alpha}, U_{1\beta}, I_{1\alpha}, I_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}$ – составляющие напряжения, тока статора и потокосцепления ротора в системе координат α и β ;

$M_{дв.эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

Математическое описание силового канала системы ПЧ-АД, в неподвижной системе координат α, β , ориентированной по вектору потокосцепления ротора составляет следующую систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1\alpha} = R_{\gamma} \cdot (T_{\gamma} p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_{\mu}}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_{\gamma} \cdot (T_{\gamma} p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_{\mu}}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_{\mu} \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\beta} - L_{\mu} \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{\text{дв.эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{Jp} \cdot (M_{\text{дв.эм}} - M_c \cdot \text{sign}(\omega)) \end{array} \right.$$

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема АД в неподвижной системе координат α, β и реактивной нагрузкой приведена на рис. 4.1. Входными величинами на структурной схеме рис. 4.1 являются напряжения переменного тока – фазные напряжения статорных обмоток двухфазного АД [6]:

$$U_{1\alpha}(t) = U_{1m} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t); \quad U_{1\beta}(t) = U_{1m} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t).$$

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 6,55 \cdot 10^{-4} + 0,037 = 0,0377 \text{ Гн};$$

$$L_2 = L_{2\delta} + L_{\mu} = 8,9 \cdot 10^{-4} + 0,037 = 0,0379 \text{ Гн}$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,037^2}{0,0377 \cdot 0,0379} = 0,042$$

$$R_{\gamma} = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0,124 + 0,068 \cdot \frac{0,037^2}{0,0379^2} = 0,189 \text{ Ом}.$$

$$T_{\gamma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{\gamma}} = \frac{0,042 \cdot 0,0377}{0,189} = 0,0084 \text{ мс}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,0379}{0,068} = 0,56 \text{ с}.$$

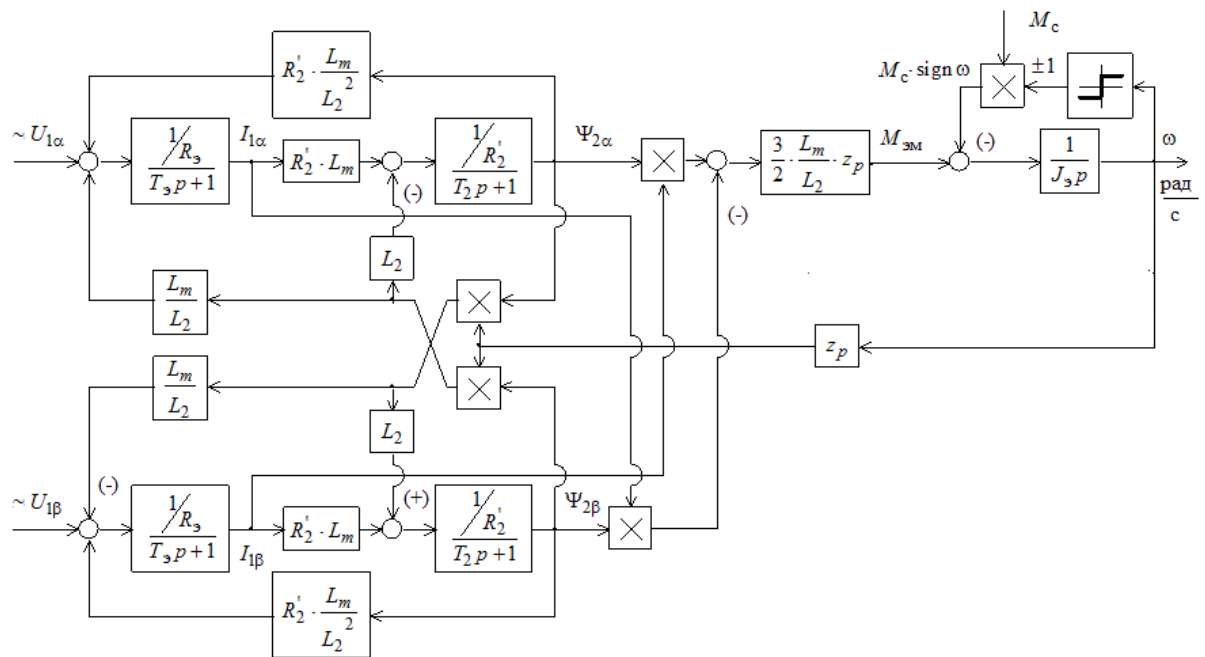


Рисунок 4.1 - Схема структурная канала силового системы в двухфазной неподвижной двухфазной системе координат α, β

В среде Simulink системы Matlab на основе структурной схемы рисунка 4.1 разработана имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД в неподвижной системе координат и приведена на рисунке 4.2 [6].

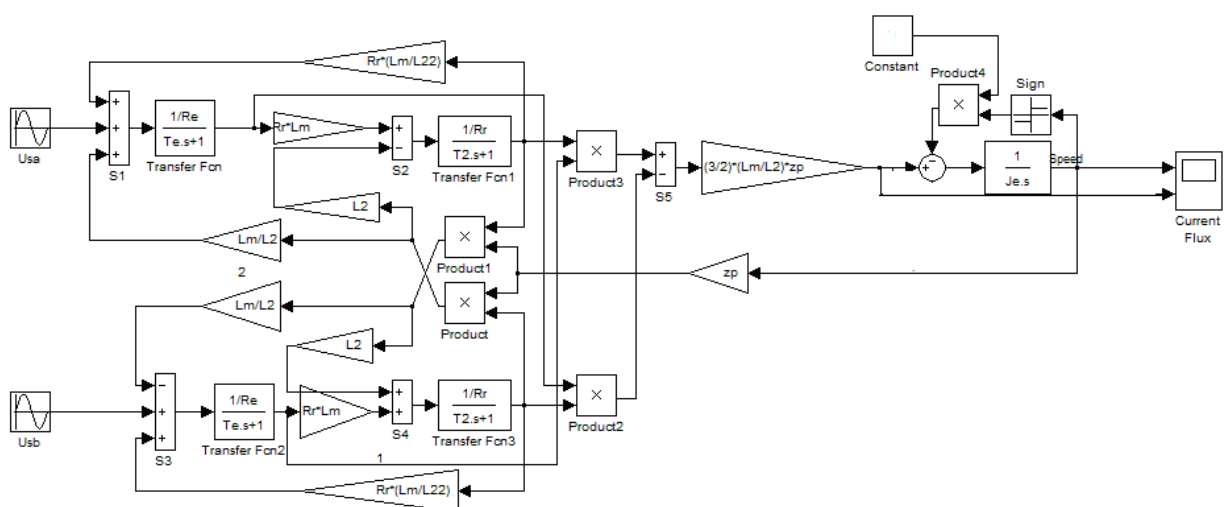


Рисунок 4.2 – Модель имитационная силового канала частотного преобразователя

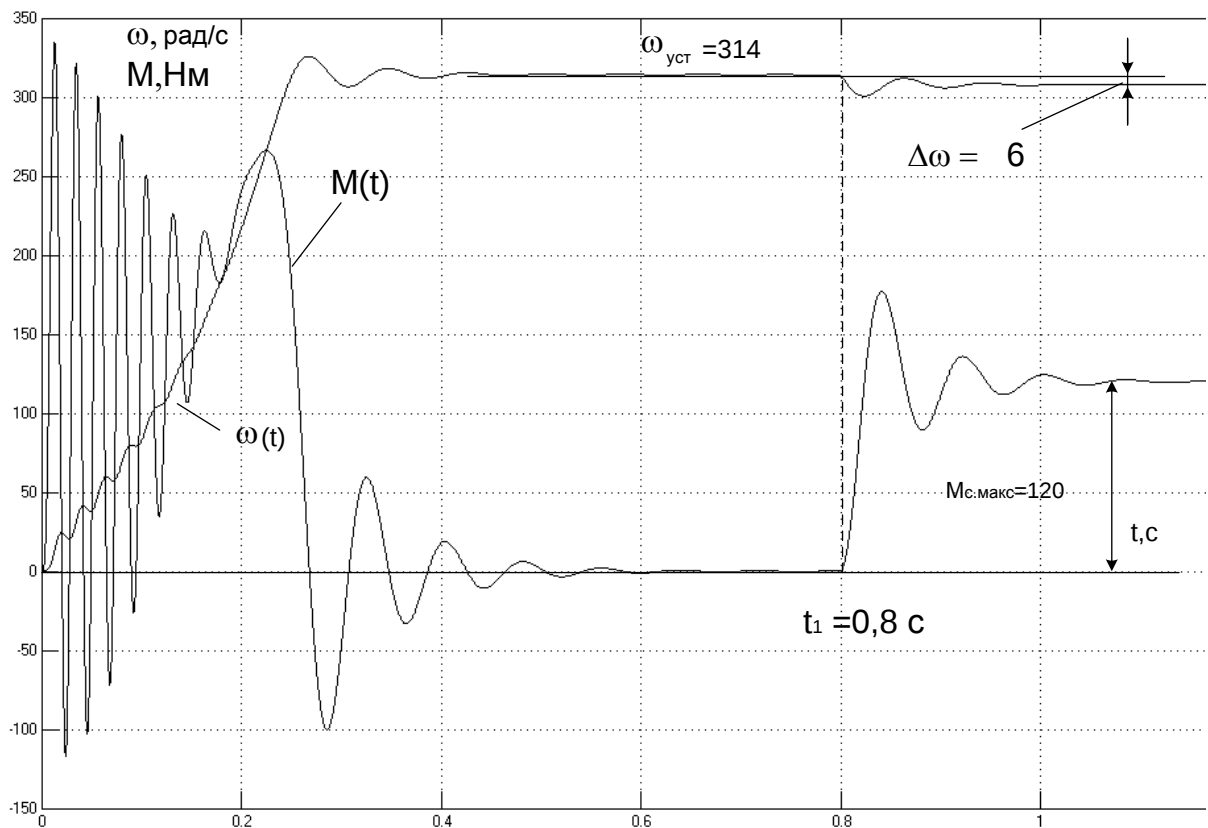


Рисунок 4.3 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске

Для проверки правильности расчетных параметров АД и адекватности имитационной модели силового канала системы ПЧ-АД проведем прямой пуск и наброс нагрузки на модели рисунка 4.2.

Переходные процессы скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки $M_{с.макс}=120$ Нм, полученные на этой модели приведены на рисунке 4.3.

Как видно из рисунка, при набросе нагрузки, равной номинальному моменту двигателя, скорость вращения двигателя уменьшается до $\omega_{\text{дв.н}} = 307,8 \text{ рад/с}$, а значение скольжения равно.

$$s_i = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв.н}}}{\omega_0} = \frac{314 - 307,8}{314} \cdot 100 = 2\%$$

и соответствует номинальному.

4.1 Функциональная схема системы скалярного частотного управления

В самом простом варианте электропривод, построенный по системе ПЧ-АД со скалярным управлением, выполняется по разомкнутой схеме.

На рисунке 4.4 показана функциональная схема такого регулируемого электропривода со скалярным управлением. В схеме значком * обозначаются сигналы задания и управления. На рисунке 4.4 следующие обозначены переменные:

ω – текущая величина угловой скорости АД;

ЗИС – задатчик интенсивности скорости с линейной или S-образной характеристиками;

ФНУ – формирователь напряжений управления двухфазным АД, формирующий два переменных напряжения U_{α}^* и U_{β}^*

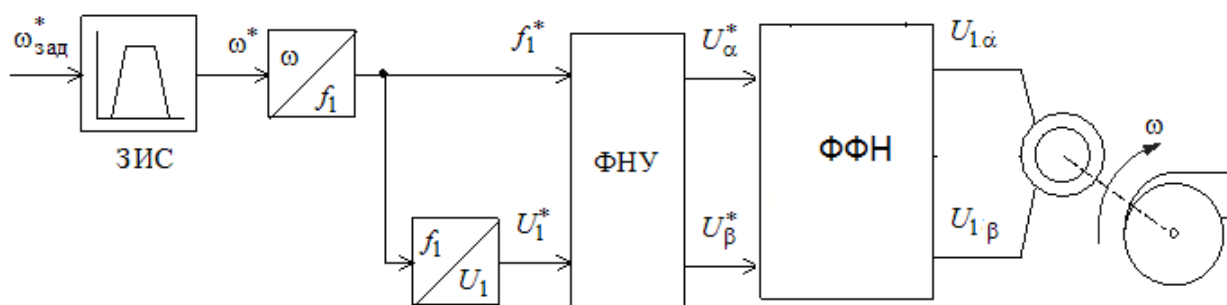


Рисунок 4.4 - Схема функциональная электропривода со скалярным частотным управлением

В системе ПЧ - АД со скалярным управлением с уменьшении частоты как пусковой, так и критический моменты двигателя также падают. Это происходит из-за увеличения влияния R_1 обмоток статора при уменьшении частоты напряжения инвертора. Нами уже было установлено ,что при

законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, для получения достаточного пускового момента при небольших частотах в ПЧ выполняется коррекция вольт-частотной характеристики в зоне небольших частот напряжения ПЧ.

С целью ограничения пусковых моментов и токов в электроприводе насосов (при работе насосных агрегатов механические перегрузки маловероятны), обычно применяется задатчик интенсивности скорости (ЗИС) с линейной или S-образной характеристиками. Причем эти характеристики программным способом реализуются в ПЧ на входе задания скорости.

По функциональной схеме рисунка 4.4, из библиотеки имитационных моделей со скалярным управлением в программной среде *MatLab* выбрана модель, приведенная на рис. 4.5. Модели входящих в эту модель суперблоков показаны на рисунках 4.6 – 4.11.

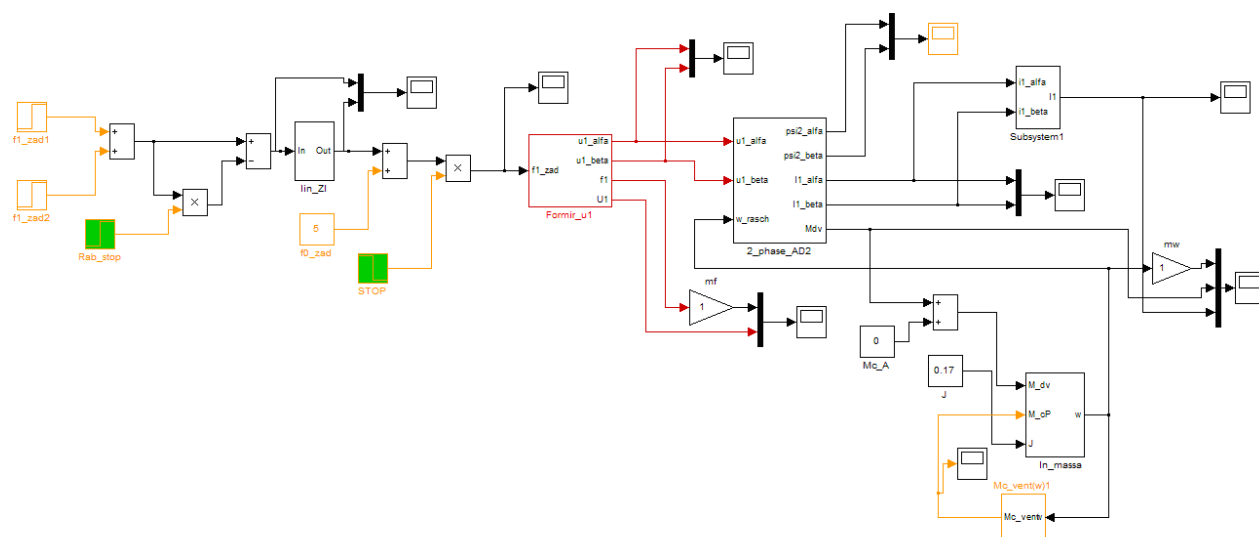


Рисунок 4.5 – Имитационная модель электрической части силового канала насоса

Рисунок 4.7 – Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат

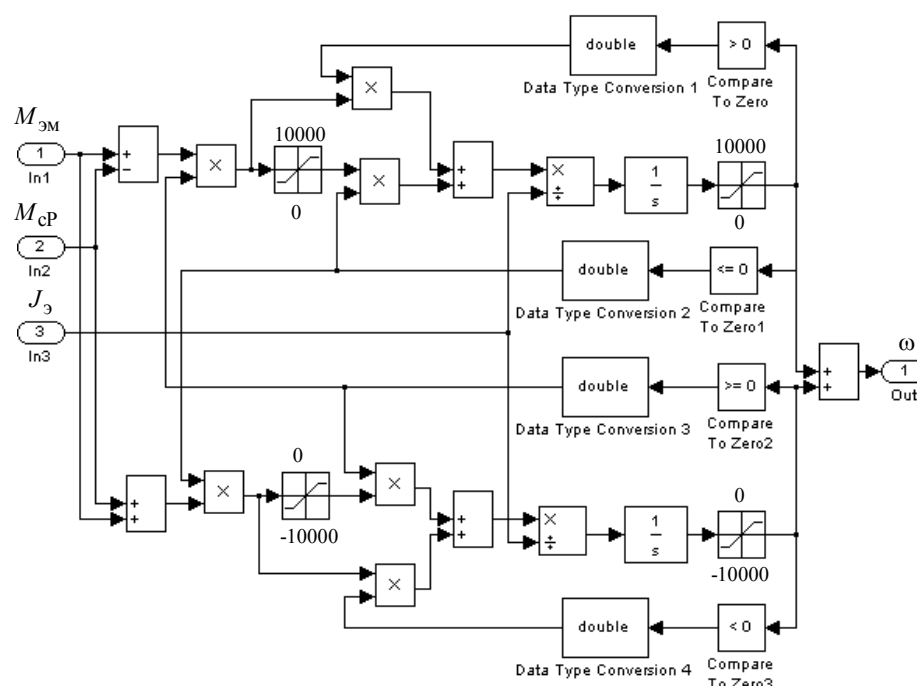


Рисунок 4.8 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

Модель, имитирующая «вентиляторную» нагрузку насоса.

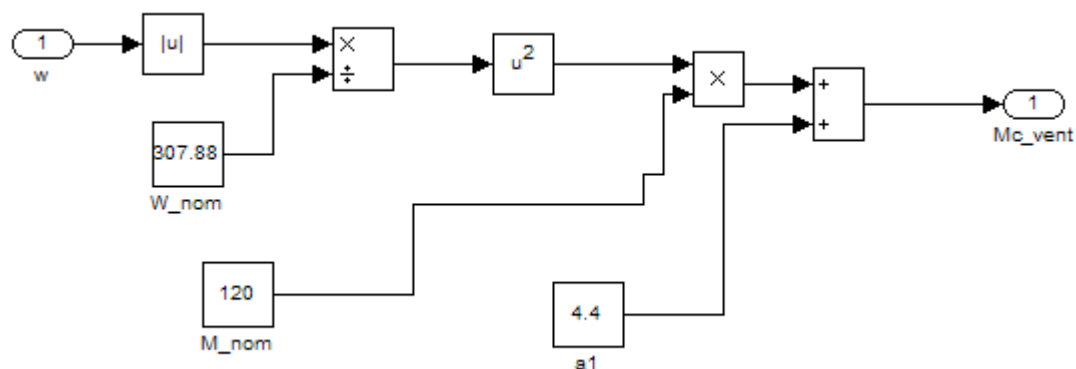


Рисунок 4.9 – Имитационная модель «вентиляторной» нагрузки насоса

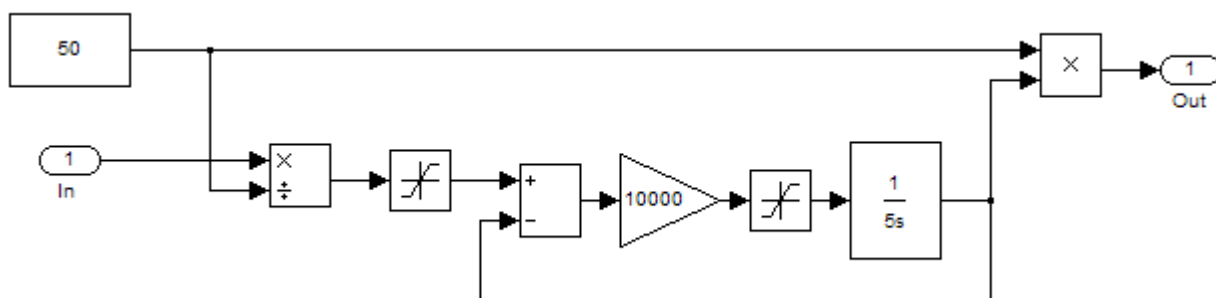


Рисунок 4.10 – Имитационная модель ЗИС с линейной характеристикой

На рисунке 4.11 показана аппроксимированная отрезками прямых зависимость $U_1/f_1^2 = \text{const.}$

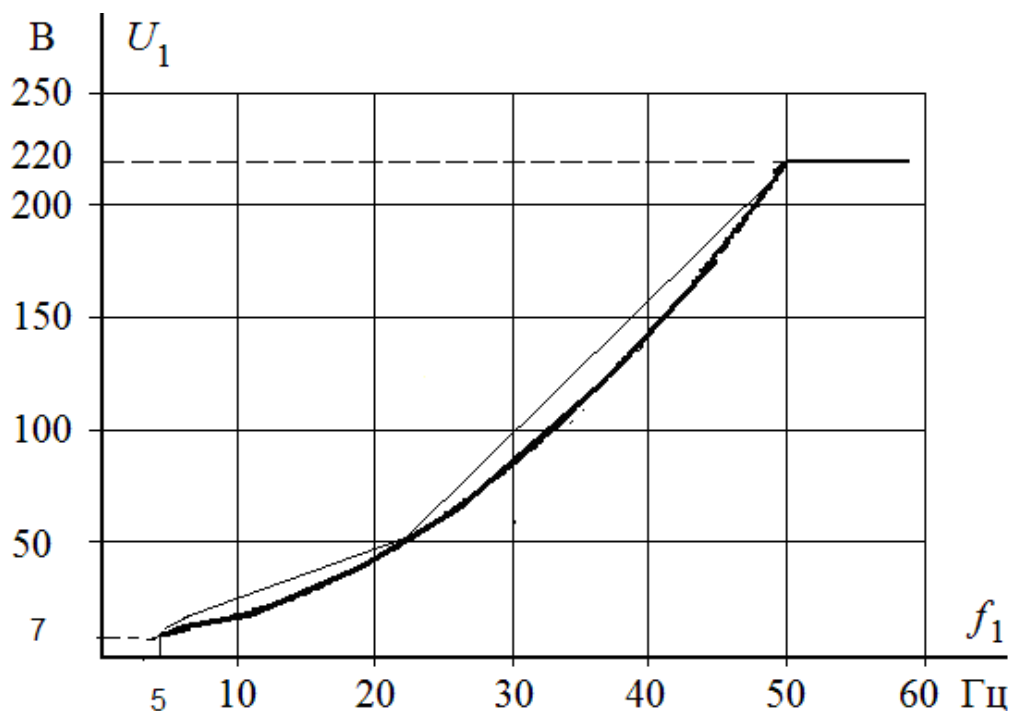


Рисунок 4.11 - Зависимость $U_1(f_1)$

Нелинейная зависимость $U_1(f_1)$ как показано на рис. 4.11, аппроксимирована отрезками и дана в таблице 4.1, а также набрана в блоке Lookip Table в имитационной модели ФФН.

Таблица 4.1- Параметры вольт-частотной характеристики преобразователя

$f_1, \text{Гц}$	5	22	50
$U_1, \text{В}$	7	50	220

Имитацию квантования по времени переменных напряжений U_α^* и U_β^* на выходе ПЧ (рис. 4.6), происходящее при их широтно-импульсной модуляции (ШИМ), происходит при посредстве стандартных блоков библиотеки Simulink: Pulse Generator и Enabled Subsystem [6].

Период квантования по времени напряжений ПЧ принимаем равным постоянной времени квантования сигнала инвертора

$$T_{\text{кв}} = \frac{1}{f_{\text{кв}}} = \frac{1}{10000} = 0,0001 \text{ с},$$

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

4.2 Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением

На рисунках 4.12 и 4.13 приведены временные характеристики отработки электроприводом насоса с законом регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройкой вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.4.1) принятого цикла работы и линейной характеристикой ЗИ.

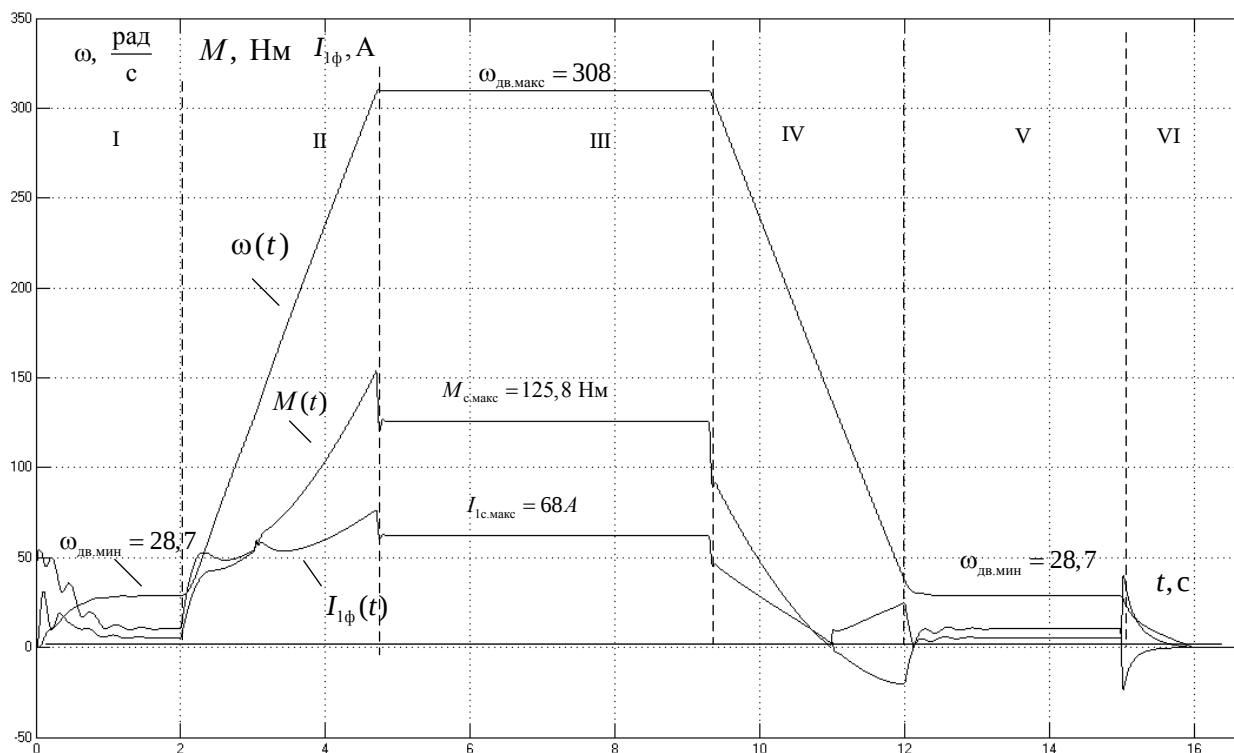


Рисунок 4.12 – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом насоса заданного цикла с линейным ЗИ при времени $T_{\text{с\u0435}} = 3 \text{ н}$; графики переходных процессов – скорости $\omega(t)$, момента $\dot{M}(t)$, фазного тока двигателя $I_{1\phi}(t)$

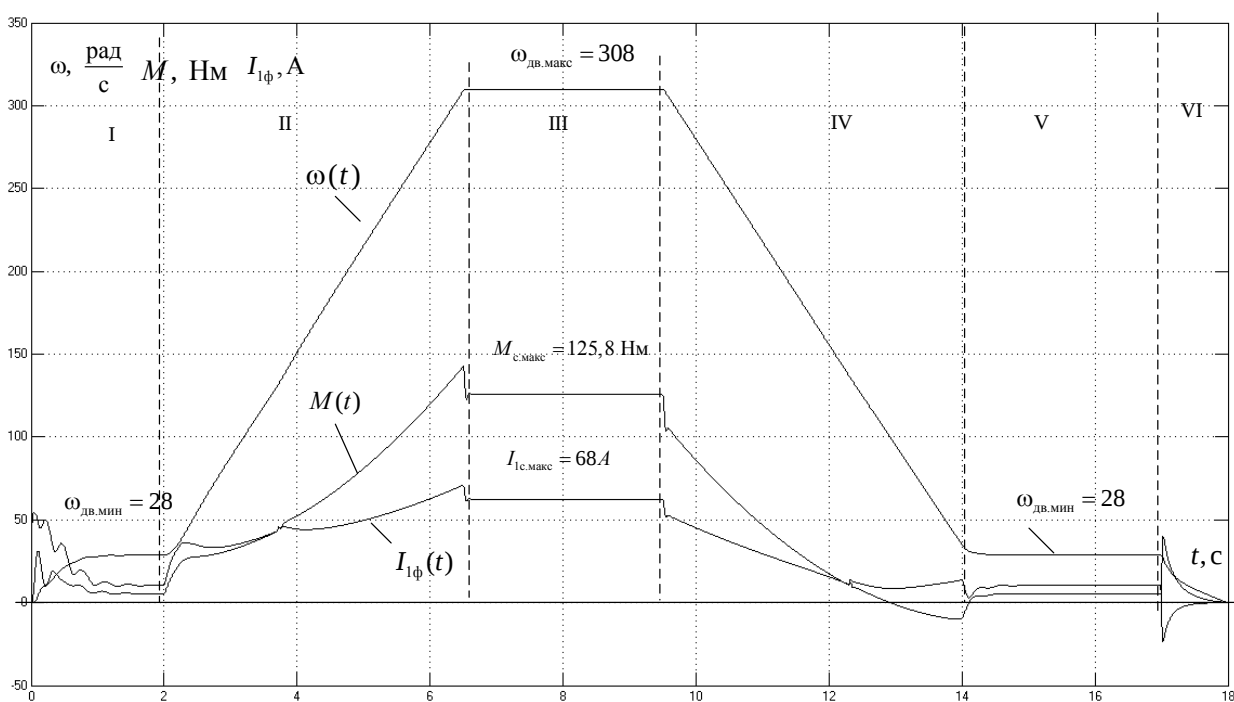


Рисунок 4.13 – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом насоса заданного цикла с линейным ЗИ при времени $T_{\text{ц}} = 5 \text{ с}$; графики переходных процессов – скорости $\omega(t)$, момента $\dot{I}(t)$, фазного тока двигателя $I_{16}(t)$

Для сравнения проведем исследование влияния на плавность изменения координат электропривода применение ЗИС с S – образной характеристикой, вид которой показан на рисунке 4.14 [6].

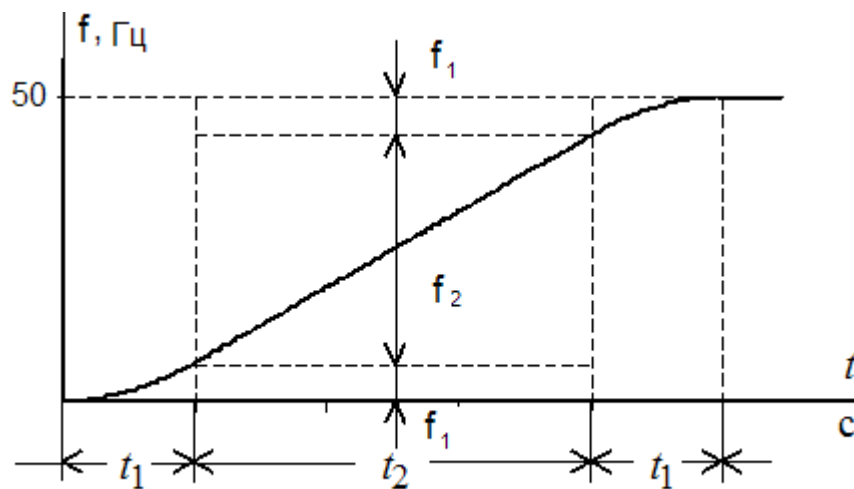


Рисунок 4.14 - Временная характеристика S - образного ЗИС

Схема набора имитационной модели ЗИС с S-образной характеристикой представлена на рисунке 4.15 [6].

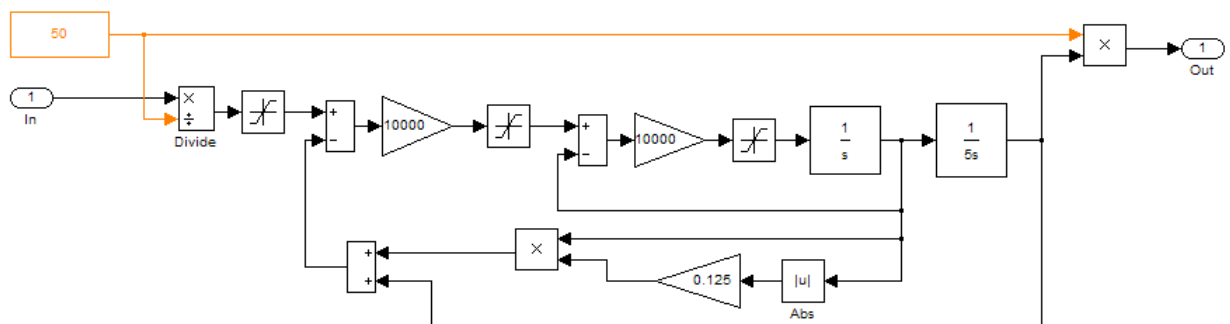


Рисунок 4.15- Имитационная модель ЗИС с S-образной характеристикой

На рисунке 4.16 приняты следующие параметры характеристики ЗИ $f_{\text{зад}}(t)$ $t_1 = 1 \text{ с}$, $t_2 = 1 \text{ с}$, $T_{\text{ц}} = 2 \cdot t_1 + t_2 = 2 \cdot 1 + 1 = 3 \text{ с}$.

На рисунке 4.17 приняты следующие параметры характеристики ЗИ
 $f_{\text{зад}}(t)$ $t_1=1\text{ с}$, $t_2=3\text{ с}$, $T_{\text{ЗИ}}=2 \cdot t_1+t_2=2 \cdot 1+3=5\text{ с}$.

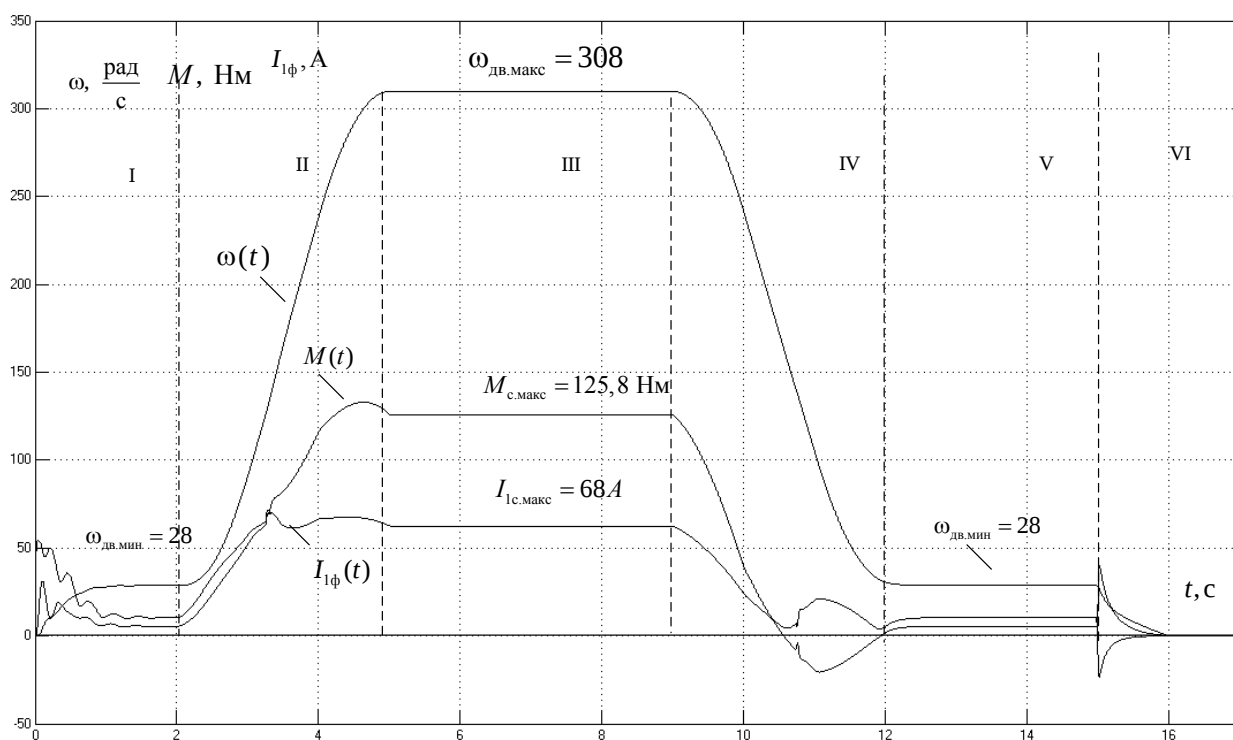


Рисунок 4.16- Результаты имитационных исследований отработки электроприводом насоса заданного цикла при задатчике интенсивности с S-образной характеристикой при времени $T_{\text{ц}} = 3\text{ с}$; графики переходных процессов – скорости $\omega(t)$, момента $M(t)$, фазного тока двигателя $I_{1\phi}(t)$

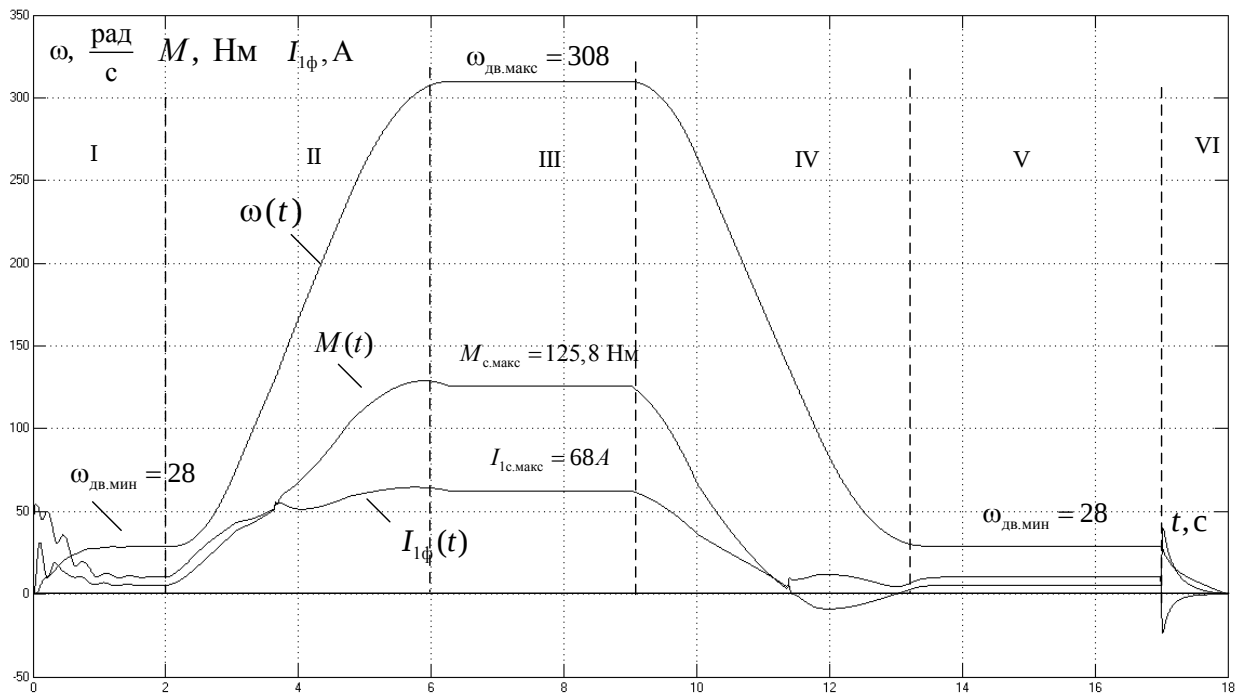


Рисунок 4.17- Результаты имитационных исследований отработки электроприводом насоса заданного цикла при задатчике интенсивности с S-образной характеристикой при времени $T_{\text{сб}} = 5 \text{ нс}$; графики переходных процессов – скорости $\omega(t)$, момента $\dot{I}(t)$, фазного тока двигателя $I_{1\phi}(t)$

Из графиков рисунков 4.16 и 4.17 видно, что применение ЗИ с S-образной характеристикой, по сравнению с ЗИ с линейной характеристикой дополнительно повышает плавность переходных процессов скорости $\omega(t)$, момента $\dot{I}(t)$, фазного тока двигателя $I_{1\phi}(t)$.

Выводы. Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод насоса под «насосной» нагрузкой при скалярном управлении с законом управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и корректировкой вольт-частотной характеристики в соответствии с таб.4.1, обеспечивает пуск электропривода с начальной частоты $f_{\text{и. мин}} = 5 \text{ Гц}$ и требуемый диапазон регулирования скорости двигателя насоса.

Переходные процессы в электроприводе с ЗИ протекают плавно (особенно при ЗИ с S-образной характеристикой) с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени ЗИ. Применение ЗИ с S-образной характеристикой при одинаковом времени $T_{зи}$ с линейным ЗИ позволяет повысить плавность изменения координат, что благоприятно сказывается на механической части электропривода насоса.

5 Финансовый менеджмент, ресурс эффективность, и ресурсосбережение

6.1 Организация пусконаладочных работ

Структура ПНР определяется исходя из сложности выпускаемых, освоенных промышленностью электротехнических устройств в соответствии с требованиями санитарных норм и правил, правил технической эксплуатации и правил техники безопасности, правил устройств электроустановок, правил органов государственного надзора и другими нормативными документами.

Продолжительность проведения пусконаладочных работ определяется, исходя из профессионального опыта бригады, и проведения аналогичных видов работ.

В данном случае руководством организации устанавливается срок 35 календарных дней. Комплекс работ разобьем на этапы и определим экспертным путем число процентного соотношения объема выполнения работ по каждому этапу при наладке преобразователя частоты. Учитывая вероятный характер ПНР, и оценки трудоемкости реальная продолжительность и процентное отношение может быть как меньше (при благополучном стечении),

так и превысить указанную продолжительность и процентное отношение (при неблагоприятном стечении). Результаты сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1- Содержание этапов ПНР

№	Содержание этапов работы	Объем работы, %	Продолжительность этапа, дни	Исполнители
1.	Подготовительные работы	13	5	
1.1	Изучение проектной документации, составление замечаний и разработка рекомендаций по их устранению	2	1	1
1.2	Составление рабочего графика проведения ПНР и согласования его с предприятием	2	0,5	1
1.3	Подготовка рабочих мест, аппаратуры, инструмента	1	1	1,3,4
1.4	Внешний осмотр электрооборудования и проверки соответствия проекту	1	0,5	1,2
1.5	Оказание технической помощи по приемке установки из монтажа, составление ведомости дефектов; контроль за устранением	3	1	1,2
1.6	Ревизия силовой установки, прозвонка цепей	4	1	2,3,4
2.	Проверочные работы	23	6	
2.1	Проверка количества ПНР и их соответствие рабочим чертежам	4	1	1,2,3,4
2.2	Проверка установленной аппаратуры и снятие в необходимых случаях характеристик.	5	1	2,3,4
2.3	Изменение аппаратных параметров оборудования и электрических схем	7	2	2,3,4
2.4	Проверка и настройка работы электрических систем дистанционного управления, блокировок и автоматики	7	2	2
3.	Наладочные работы	42	15	
3.1	Измерение сопротивления изоляции и испытания повышенным напряжением	2	1	1,3,4
3.2	Испытание двигателя	5	2	1,3,4
3.3	Испытание и настройка элементов защиты	8	3	3,4
3.4	Испытание и наладка преобразователя частоты	15	5	1,2

3.5	Наладка системы регулирования электропривода преобразователя	12	4	1,2
4.	Комплексное опробование	15	5	
4.1	Испытание преобразователя на холостом ходу	5	1	1,2
4.2	Опробование и корректировка работы при рабочей нагрузке	7	2	1,2
4.3	Проверка режимов работы при управлении с поста управления	3	2	1,2
5.	Оформление отчетной и приемно-сдаточной документации	7	4	
5.1	Обработка материалов испытания	1	1	1
5.2	Составление инструкции по эксплуатации	2	1	1,2
5.3	Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта изменений, во время проведения ПНР	2	1	1
5.4	Оформление и выпуск технического отчета	2	1	1
ИТОГО		100	35	

Примечание: 1 – мастер ЦЕС; 2 – электромонтажник 5 разряда; 3 – электро-монтёр 5 разряда; 4 – электромонтер 6 разряда.

6.2 Сметная стоимость пусконаладочных работ

Расчёт сметной стоимости производится по следующим статьям затрат:

1. Затраты на материалы и комплектующие;
2. Затраты на оборудование;
3. Затраты на оплату труда;
4. Страховые взносы;
5. Накладные расходы.

6.2.1 Расчет стоимости материалов и комплектующих

Общая стоимость материалов и комплектующих необходимых для проведения ПНР приведена в таблице 6.2

Таблица 6.2 Стоимость материалов и комплектующих

№	Наименование	Единица Измерения	Коли- чество	Стоимость, руб.	
				за еди- ницу.	всего
1	Лента поливинилхлоридная электроизоляционная	кг	0,3	150	45
2	Трубка электромонтажная ХВТ-5УХЛ-2.5	кг	0,2	35	7
3	Трубка электромонтажная ХВТ-16УХЛ-2.5	кг	0,2	36	7,2
4	Лакоткань электроизоляционная капроновая ЛКМ-105	м ²	2	150	300
5	Листовой электротехнический текстолит	кг	10	200	2000
6	Металлорукав	м	50	20	1000
7	Бензин А-76	л	3	13	39
8	Спирт технический	л	0,5	100	50
9	Канифоль или флюс КСп	кг	0,2	35	7
10	Ветошь	кг	2	10	20
	Провод ПВ-Л	м	10	5	50
	Провод ПРГ	м	10	3	30
	Шнур ВВГ	м	7	8	56
	Кабель РКМ	м	15	50	750

	Кабель ВРГ	м	15	45	675
	Металлорукав РЗ-Ц	кг	5	75	375
	Перфорированный швеллер К225	кг	20	15	300
	Перфорированный уголок К236	кг	15	12	180
	Кабельный наконечник 70-10-13-МУХЛЗ	шт	30	20	600
	Кабельный наконечник 16-6-6-МУХЛЗ	шт	30	15	450
	Уплотнитель резиновый	шт	20	8	160
	Кабельная гильза 1 3-5-2 -ООУТ2	шт	20	10	200
	Итого, тыс. руб				7,3

Материальные затраты с учетом затрат на транспорт рассчитываются по формуле:

$$M = \Pi_m \cdot k_{\text{тзр}},$$

где $k_{\text{тзр}}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Применим $k_{\text{тзр}} = 0,08$ (принят на предприятии ОАО «ТомскГазпром»)

$$M = 7,3 \cdot 1,08 = 7,9 \text{ тыс. руб.}$$

6.2.2 Расчет стоимости оборудования

Первоначальная стоимость оборудования, необходимых для ПНР приведена в таблице 6.3.

Таблица 6.3 Стоимость оборудования

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб	
				за единицу.	всего
1.	Преобразователь частоты Danfoss VLT 5350 Flux	шт	1	350 000	350 000
2.	Электродвигатель RA355MA4	шт	1	452 401	452 401
15.	Электродвигатель АИР200М2У2	шт	1	4 170	4 170
16.	Подъёмная спираль 4A250 M8	шт	1	74 400	74 400

17.	Преобразователь частоты MCD 5-0595C-T7-G4X-00CV2	шт	1	194 338	194 338
18.	Преобразователь частоты MCD 5-0089B-T7-G1X-20-CV2	шт	1	71 690	71 690
19.	Датчик FCS G/2A4-NA N 1141 потока	шт	2	22 941	45 882
	Итого, млн.руб				1,2

Первоначальная стоимость оборудования с учетом т.з.р. равна:

$$Об = 1,2 \cdot 1,08 = 1,3 \text{ млн. руб.}$$

6.3.3 Расчет расходов на оплату труда

Расчет оплаты труда произведён за фактически отработанное время. Это - основная заработная плата, доплата за работу в особо вредных условиях труда и по районным коэффициентам работников, участвующих в работе.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ОЗП = \text{Оклад} + \text{ДЗП} + \text{Пр} + \text{К}_р$$

Расчеты заработной платы при 8 часовом рабочем дне и 22 рабочих днях в месяц дней производим с учетом надбавки за работу (в особо вредных условиях труда - 24%, в нормальных условиях труда – 15%), индивидуальной интегрированной стимулирующей надбавки (принятой на предприятии ОАО «ТомскГазпром»), коэффициента на проведение работ вблизи действующих электроустановок, находящихся под напряжением и районного коэффициента (50%).

Произведём расчеты заработной платы на примере мастера смены.

Зарботная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная зар. плата;

$З_{доп}$ – дополнительная зар. плата;

Мастер смены постоянно работает в особо вредных условиях труда, с надбавкой 24%, что является дополнительной зарплатой. При расчете зар-

платы надбавка за вредность начисляется к чистому окладу без ИСН и районного коэффициента по формуле:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{ок}} \cdot K_{\text{вр}},$$

где $З_{\text{ок}}$ – оклад; $K_{\text{вр}}$ – коэффициент за вредность;

Следовательно, зарплата с учетом коэффициента за вредность будет равна:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} \cdot 1,24,$$

$$З_{\text{зп}} = 12,6 \cdot 1,24 = 15,6 \text{ тыс.руб.}$$

Зарплата с учетом индивидуальной интегрированной стимулирующей надбавки (принятой на предприятии ОАО «ТомскГазпром») рассчитаем по формуле:

$$З_{\text{и}} = З_{\text{зп}} + \text{ИСН},$$

где $З_{\text{зп}}$ – основная зарплата с учетом надбавки за вредность;

ИСН – индивидуальная интегрированная стимулирующая надбавка (принятая на предприятии ОАО «ТомскГазпром»);

$$З_{\text{и}} = 15,6 + 9,7 = 25,3 \text{ тыс.руб.}$$

Районный коэффициент начисляется на основную зарплату с учетом надбавки за вредность и ИСН, и рассчитывается по формуле:

$$З = З_{\text{и}} \cdot 1,5$$

$$З = 25,3 \cdot 1,5 = 37,95$$

Расчеты заработной платы при 8 часовом рабочем дне и 22 рабочих днях в месяц приведены в таблице 6.4

Таблица 6.4 Заработная плата работников в месяц

Должность	Оклад, тыс.руб.	ИСН, тыс.руб.	Коэффициент за вредность, %	Районный коэффициент, %	Основная ЗП, тыс.руб.
1. Мастер ЦЕС	12,6	9,7	24	50	37,95
2. Электромонтажник 5 разряда	10,4	5,2	15	50	25,7
3. Электромон-	7,4	5,7	24	50	22,3

тёр 5 разряда					
4. Электромон- тёр 6 разряда	8,2	6,0	24	50	24,25
Всего					110,2

При наладке оборудования применяется повременная оплата труда. При такой системе заработная плата рабочего определяется фактически отработанным временем. При выполнении работ в условиях, отличных от нормальных к заработной плате применяются поправочные коэффициенты:

1,3 - коэффициент проведение работ вблизи действующих электроустановок, находящихся под напряжением;

1,5 - районный коэффициент.

Основная заработная плата при проведении ПНР рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $З_{\text{дн}}$ – среднедневная зарплата одного работника бригады, тыс.руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, дней.

Среднедневная ставка одного работника бригады определяется по формуле:

$$З_{\text{дн}} = (З_{\text{тс}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{рк}}) / F_{\text{д}},$$

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

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

$З_{\text{рк}}$ - зарплата с учетом районного коэффициента, тыс.руб;

$F_{\text{д}}$ - количество рабочих дней в месяц, дн.

В зарплате по тарифной ставке уже учтен коэффициент на проведение работ вблизи действующих электроустановок, находящихся под напряжением, так как бригада постоянно работает в этом направлении.

Среднедневную заработную плату на каждого работника бригады, участвующей при проведении ПНР, рассчитаем по формуле:

$$З_{\text{днi}} = З / F_{\text{д}},$$

где $Z_{\text{дн}i}$ – среднедневная зарплата i -го работника, тыс.руб;

Z – зарплата одного работника с учетом надбавок, ИСН и районного коэффициента, тыс.руб;

$F_{\text{д}}$ - количество рабочих дней в месяц, дн.

$$Z_{\text{дн}1} = 37,95 / 22 = 1,73 \text{ тыс.руб,}$$

$$Z_{\text{дн}2} = 25,7 / 22 = 1,17 \text{ тыс.руб,}$$

$$Z_{\text{дн}3} = 22,3 / 22 = 1,01 \text{ тыс.руб,}$$

$$Z_{\text{дн}4} = 24,25 / 22 = 1,10 \text{ тыс.руб.}$$

Продолжительность проведения пусконаладочных работ определяется, исходя из профессионального опыта бригады, и согласно утвержденному Техническому проекту по строительству и монтажу БКНС ОАО «ТомскГазпром» на 2012 год, за подписью генерального директора и составляет 35 календарных дней.

Расчет полной заработной платы на проведение ПНР приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Расчет полной заработной платы на проведение ПНР

Состав бригады	$Z_{\text{ок}}$ тыс.руб	$Z_{\text{квр}}$ тыс.руб	$Z_{\text{и}}$ тыс.руб	$Z_{\text{рк}}$ тыс.руб	$Z_{\text{м}}$ тыс.руб	$Z_{\text{дн}}$ тыс.руб	$T_{\text{р}}$ раб.дн
1. Мастер ЦЭС	12,6	3,0	9,7	20,3	37,95	1,7	27
2. Электромонтажник 5 разряда	10,4	2,5	5,2	14,5	25,7	1,2	23,5
3. Электромонтёр 5 разряда	7,4	1,8	5,7	11,9	22,3	1	12
4. Электромонтёр 6 разряда	8,2	2,0	6,0	12,9	24,25	1,1	12
Итого							

Накладные расходы составляют 200% от заработной платы основных работников ОАО «ТомскГазпром»:

$$Z_{\text{н}} = 200\% * Z_{\text{осн}} = 200\% \cdot 99,3 = 198,6 \text{ тыс.руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Размер отчислений во внебюджетные фонды рассчитывается по следующей формулы:

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2012 г. в соответствии с Фед. закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб}=0,3*99,3=29,79 \text{ тыс/руб}$$

6.3.4. Сметная стоимость на проведение пусконаладочных работ.

Сметная стоимость на проведение пусконаладочных работ Электродвигателя АИР200М2У2 представлена в таблицу 6.6.

Таблица 6.6 – Сметная стоимость

№	Наименование статей	Сумма, тыс.руб	Структура сметной стоимости, %
1	Материалы	8	1
2	Оборудование и комплектующие	1 288	78
3	Оплата труда	99	7
4	Накладные расходы	238	14
Итого		1 633	100%

В данном разделе были рассмотрены мероприятия (ПНР) необходимые для введения в эксплуатацию БКНС «Северо-Останинское» ОАО «ТомскГазпром». Весь комплекс работ разбит на отдельные этапы и определили время выполнения каждого этапа ПНР. Согласно полученным данным был построен линейный график проведения ПНР, а также составлена сметная стоимость.

- Продолжительность работ составляет 35 дней.
- Численность бригады четыре человека:
 - 1)руководитель- мастер ЦЭС;
 - 2)электромонтажник 5 разряда;

- 3)электромонтер 5 разряда;
- 4)электромонтер 6 разряда.
- Сметная стоимость составляет 1 633 тыс. рублей.

6.4 Расчет расходов при эксплуатации электропривода насоса

6.4.1 Расчет затрат на электроэнергию

Электроэнергия служит для питания электроприводов механизмов и высчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}},$$

где $P_{\text{уст}}$ – установочная мощность двигателя, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6-0.7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6-0.8);

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7-0.8);

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92-0.95);

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9-0.93).

Действительный годовой фонд времени работы оборудования рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{д}} = T_{\text{дн}} \cdot t_{\text{ч}},$$

где $T_{\text{дн}}$ – количество дней в году работы двигателя, дней;

$t_{\text{ч}}$ – время работы двигателя в сутки, час;

$$F_{\text{д}} = 341 \cdot 24 = 8184 \text{ часа}$$

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{37 \cdot 8184 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,7}{0,9 \cdot 0,92} = 92160 \text{ кВт/ч}$$

Издержки на силовую энергию считаются:

$$C_{эл} = W_{свл.эл} \cdot C_э,$$

$$C_{эл} = 92159 \cdot 1,54 = 142 \text{ тыс.руб}$$

где $C_э$ – цена 1 киловата в час электроэнергии на предприятии ОАО «Томск-Газпром» (1,53 руб/ кВт.ч).

6.4.2 Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления за год считаются по нормам амортизации и вычисление производится по формуле:

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100},$$

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

H_A – норма амортизации, $H_A = 9.6\%$

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 1653000 \cdot \frac{9,6}{100} = 159 \text{ тыс.руб/год.}$$

6.4.3 Затраты на ремонт, эксплуатацию и обслуживание электроприводов

Расходы на планово – предупредительные работы составляют 820 руб/час. Данная сумма запланирована и рассчитана отделом экономического планирования ОАО «ТомскГазпром», и переутверждается.

Расходы на планово-предупредительные работы электропривода представлены в таблице 6.7

Таблица 6.7 – Расходы на планово-предупредительные работы электропривода

Виды ППР	Трудоем- кость, чел/час	Периодич- ность ППР	Затраты на ППР электропривода в час	Затраты на ППР, руб/год
Капитальный ремонт	5	Раз в два го- да	810	2450

Текущий ремонт	2	Раз в 6 месяцев	820	3280
Техническое обслуживание	1	Раз в месяц	820	9840
Итого				15580

6.5 Определение экономической эффективности проекта

Для определения экономической эффективности проекта необходимо рассмотреть сравнительную характеристику технико-экономических показателей. Сравнение ТЭО показателей, представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 - Сравнение технико-экономических показателей электродвигателей

Критерии	Ед. измерения	ПЧ	С ПЧ	Изменение
Установленная мощность	кВт	37	37	
Потребляемая мощность двигателей	кВт	37	37	С ПЧ меньше потребляется эл.энергии
Время работы двигателя в сутки	час	24	24	
Количество дней в году работы двигателя	дн	341	341	
Годовые затраты эл.энергии механизмов	Тыс.кВт.ч	5156	3 887	Энергоэффективен
Затраты	Тыс.руб	7889	5947	Экономия в год 1,9 млн. руб на электроэнергию

7. Социальная ответственность

7.1 Введение

В этом разделе мы постараемся рассмотреть возможные факторы, возникающие при выполнении операций технологического процесса, влияние этих факторов на окружающую среду и воздействия их на организм человека. Разработаем мероприятия по снижению уровня негативного влияния этих факторов на обслуживающий персонал

В нашей стране данные мероприятия выливаются в основные направления государственной политики в области охраны труда, которые отражены в статье 210 Трудового кодекса РФ. На обеспечение сохранения жизни и здоровья работников выделяются деньги, и проводятся профилактические мероприятия.

В данном разделе дипломной работы рассмотрены и проанализированы условия труда с точки зрения наличия и проявления вредных и опасных факторов, их воздействия на работника предприятия. Разработаны мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, а также мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте мастера по обслуживанию блочнокустовой насосной станции «Северо-Останинская».

В компании ОАО «Томскгазпром» реализуется политика в области охраны труда и промышленной безопасности, основными целями которой являются: создание безопасных условий труда и сохранение жизни и здоровья работников, а также обеспечение надежности работы опасных производственных объектов. Политика направлена на безопасность и безаварийность производства, предупреждение нештатных ситуаций, снижение производственного травматизма. Ее главный постулат: в обеспечении безопасности и охраны труда участвуют все без исключения работники предприятия — от рабочего вспомогательных производств до первого руководителя. Система управления охраной труда и промышленной безопасно-

стью компании предполагает четырехуровневый административно-производственный контроль.

В 2014 году получен сертификат на соответствие ОАО «Томскгазпром» требованиям международного стандарта OHSAS 18001:2007 «Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования».

7.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Произведем анализ рабочего места электромонтера по обслуживанию электрооборудования на производственной площадке. Работы включают в себя: работы по обслуживанию электродвигателей (протяжка контактов, профилактические замеры, отсоединение силового кабеля и др.), работы в клемных коробках, на кнопочных постах, работы с осветительными установками и тд.

На работника осуществляющего данные работы по обслуживанию электрооборудования оказывают воздействие опасные и вредные факторы:

К вредным факторам относится:

- загазованность воздуха;
- шум;
- недостаточное освещение;
- низкие и высокие температуры окружающего воздуха.

К опасным факторам относится:

- захват вращающимися частями производственного механизма;
- поражение электрическим током;
- опасность возникновения взрыва;

В процессе обслуживания насосной станции на мастера по обслуживанию насосной станции могут воздействовать следующие опасные и вредные факторы, относящиеся к физической группе (таблица 1).

Таблица 1 - Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Обслуживание насосной станции	повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов	-	СанПиН 2.2.4.548-96
	повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	-	СанПиН 2.2.4.548-96 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ
	влажность воздуха	-	СанПиН 2.2.4.548-96
	скорость движения воздуха	-	СанПиН 2.2.4.548-96
	тепловое излучение	-	ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ
	отсутствие или недостаток естественного света	-	СНиП П-4-79 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
	недостаточная освещенность рабочей зоны	-	СП52.13330.2011
	повышенный уровень шума на рабочем месте	-	ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ СНиП II-12-77
	-	движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	ГОСТ 12.2.062-81 ССБТ
	-	возможность поражения электрическим током	ГОСТ 12.2.007-75 ГОСТ 21130-75

7.3 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих

7.3.1 Состояние воздушной среды (микроклимат)

Достигнуть оптимальных микроклиматических условий невозможно, т.к. производственное оборудование (компрессор) должен находиться в прохладном помещении, чтобы он не перегревался.

Мероприятия для создания благоприятных микроклиматических условий:

- надежная работа систем отопления в холодный период;
- кондиционирование и вентиляция воздуха в течение всего года, т.к. и переохлаждение, и перегрев организма человека ведет к нарушению жизненных функций;
- перед входом в производственное помещение, в котором установлен компрессор, оборудован тамбур, имеющий воздушную тепловую завесу от проникновения больших масс холодного воздуха через место открывания дверей и ворот в большом производственном помещении;
- снабжение мастера средствами индивидуальной защиты (по сезону).

Целью отопления помещения является поддержание в них в холодное время года заданной температуры воздуха. В зависимости от теплоносителя системы отопления бывают водяные, паровые, воздушные и комбинированные. В санитарно-гигиеническом отношении система водяного отопления наиболее эффективна.

Задачей вентиляции является снабжением чистотого воздуха и заданной температурой на рабочем месте. Вентиляция достигается удалением загрязнённого или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха.

Задачей кондиционирования является обобщенное действие: либо подачи тепла, либо подачи воздуха.

7.3.2 Освещенность

Глаз человека лучше всего приспособлен к естественному освещению. При недостаточном естественном освещении применяют искусственное освещение. Производственное освещение – это система, включающая в себя оба вида освещения, позволяющая осуществлять нормальный технологический процесс.

Нормирование освещенности производится в соответствии со СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».

Освещение в производственных условиях определяется следующими основными параметрами:

- световой поток Φ , лм;
- сила света I , лд;
- освещенность E , лк,
- яркость L , кд/м².

В зависимости от природы источника света, освещение различают: естественное, искусственное, совмещенное. При недостатке естественного освещения используют совмещенное освещение. Последнее представляет собой освещение, при котором в светлое время суток одновременно светят естественное и искусственное освещение. В данном производственном помещении используется совмещенное освещение: естественное боковое одностороннее дополняется искусственным общим освещением, т.к. в структуре компрессора есть мелкие детали (таблица 3).

Таблица 3 - Параметры систем естественного и искусственного освещения на рабочих местах

Наименование рабочего места	Тип светильника и источника света	Коэффициент естественной освещенности, КЕО, %	Освещенность при совмещенной системе, лк
		Норм. значение	Норм. значение
1	2	3	4
Производственное помещение	Люминесцентные лампы	0,5	200

В нашем случае насосный модуль имеет естественное и искусственное освещение. Искусственное освещение выполнено лампами накаливания во взрывозащищенном исполнении светильников и предназначено для использования в ночное время суток. Согласно нормам [20] освещенность для работ с малой точностью с наименьшим объектом различения от 5 до 10 мм должна составлять $E_n = 30$ ЛК.

7.3.3 Шум

Основным источником шума на производственном объекте может является электронасосный агрегат. Причиной шума может служить износ подшипников, неточна сборка деталей при ремонтах и т.п. Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации.

Шум наносит большой ущерб, вредно действует на организм человека и снижает производительность труда. Утомление рабочих из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению травм.

Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Продолжительность действия сильного шума вызывает общее утом-

ление, может привести к ухудшению слуха, а иногда и к глухоте. Таким образом шум вызывает нежелательную реакцию всего организма человека.

При нормирование шума используют два метода: нормирование по предельному спектру шума, нормирование уровня звука в дБ. Таким образом, шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значений которые приведены в ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности». Поэтому для работы на данном объекте допустимый уровень звукового давления в активной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц есть 80 дБ, а допустимый уровень звука 85 дБ [18].

Строительные нормы и правила СНиП 23-03-2003 предусматривают защиту от шума строительными-акустическими методами, при этом для снижения уровня шума предусматриваются некоторые меры. К производственному механизму мы можем применить - укрытия в кожухи источников шума [19].

В качестве индивидуальных средств защиты от шума на данном объекте используют специальные наушники, вкладыши (беруши) в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

При нормировании шума используют два метода:

- нормирование по предельному спектру шума,
- нормирование уровня звука в дБ (таблица 4).

Таблица 4 - Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука (ГОСТ 12.1.003–83 с изм. 1999 г.)

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Помещение для насоса (по факту)	110	99	92	86	82	79	77	74	71	86

Таким образом, шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней. Предельно допустимые значения, характеризующие шум и вибрацию, регламентируются ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности» и СН 2.2.4/2.1.8562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». На данном рабочем месте допустимый уровень звука 80 дБА, а по факту - 86 дБА, что превышает нормативный уровень. Вредный фактор поступает через шум от работы компрессора.

Бесшумных производств практически не бывает. Борьба с шумом – комплексная задача. Мероприятия по борьбе с шумом:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения (износ подшипников, неточная сборка деталей при ремонтах и т.п.): повышение качества балансировки вращающихся деталей;
- совершенствование смазки трущихся поверхностей;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- использование оптимальных режимов работы компрессора;

- установка глушителей шума;
- рациональное размещение оборудования;
- применение специальных средств индивидуальной защиты: противозащитные наушники, шлемы, вкладыши.

7.4 Техника безопасности

7.4.1 Механический фактор

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, соблюдением мастером техники безопасности. При работе движущихся механизмов и подвижных частей производственного оборудования необходимо соблюдать правила техники безопасности во избежание механических травм. Меры для защиты от случайного прикосновения вращающихся частей механизмов обслуживаемого оборудования: специальные кожухи.

7.4.2 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Требования электробезопасности отражены в «Правилах устройства электроустановок», «Межотраслевых правил безопасности при эксплуатации электроустановок» и различных ГОСТах: ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты», ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Защитное заземление, зануление», ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».

Степень опасности обслуживания электрических установок определяют условия эксплуатации и характер окружающей среды. По степени опасности

поражения электрическим током все помещения делятся на три категории. Рабочее место мастера находится в отдельном помещении со следующими данными:

- сухое, т.к. относительная влажность воздуха не превышает 60%,
- переменное напряжение питающей сети 380/220 В, частотой 50 Гц;
- с возможностью одновременного прикосновения человека к имеющим соединения с землёй металлоконструкциям зданий, механизмов, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Помещение с данными условия является помещением с повышенной опасностью.

При нормальном режиме работы оборудования опасность поражения током невелика. Однако, возможны режимы, называемые аварийными, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящихся под напряжением с заземленными конструкциями.

Основные факторы, определяющие опасность поражения электрическим током:

- электрическое сопротивление тела человека;
- величина напряжения и тока;
- продолжительность воздействия электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- род и частота электрического тока;
- условия внешней среды и состояние человека.

При длительном воздействии допустимый безопасный ток принят в 1 мА (таблица 5).

Таблица 5- Зависимость длительности протекания тока через тело человека от его величины

Длительность воздействия, с	...30	30	1	0,7	0,5	0,2
Допустимый безопасный ток, мА	1	6	50	70	100	250

Основными мерами защиты от поражения током являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением от случайного прикосновения;
- электрическое разделение сети;
- устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрического оборудования, что достигается применением малых напряжений, использованием двойной изоляции, выравниванием потенциала, защитным заземлением, занулением, защитным отключением и д.р.;
- применение специальных защитных средств переносных приборов и приспособлений;
- организация безопасной эксплуатации электроустановок;
- применение индивидуальных средств защиты: изолирующие электрозащитные средства (штанги изолирующие, диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки), ограждающие средства защиты, предназначенные для временного ограждения токоведущих частей, для временного заземления, предохранительные средства защиты, предназначенные для индивидуальной защиты от световых, тепловых и механических повреждений.

Исправность средств защиты должна проверяться осмотром перед каждым применением, а также периодически через 6-12 месяцев.

Все работы, связанные с обслуживанием компрессорной установки, выполняются лицами, прошедшими специальное обучение по эксплуатации компрессора, и, получившие допуск к работе. Персонал обучен основным приемам работ и правилам техники безопасности.

Контроль за безопасностью работ предусматривает ежедневную проверку мастером:

- исправности заземления электроустройств и электропроводки;
- проверка защитных и блокировочных устройств;
- отсутствие посторонних предметов на рабочем месте;
- наличия ограждения вращающихся и перемещающихся деталей;
- исправность запоров электрошкафов, ключ от которых должен храниться у лица, имеющего право допуска;
- наличие медикаментов для оказания первой помощи и средств пожаротушения.

7.5 Расчёт защитного заземления. Теория расчёта заземления

Защитное заземление является одной из наиболее часто встречающихся мер защиты людей от поражения электрическим током и предназначено для снижения до малых величин шагового напряжения и напряжения прикосновения.

Главным параметром защитного заземления является допускаемая величина сопротивления заземляющего устройства, то есть того сопротивления, которое оказывает тогу замыкания на землю грунт, находящийся в зоне растекания.

Заземлители могут быть искусственными и естественными. Под естественными понимаются такие металлические предметы, которые имеют хорошую связь с землёй и могут быть использованы в качестве заземлителей. Это водопроводные трубы, свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле, металлические конструкции зданий и сооружений, имеющих надёж-

ное соединение с землёй и т.п. В целях экономии затрат следует использовать в первую очередь естественные заземлители. Если сопротивление естественного заземлителя не соответствует допускаемому по нормам, то параллельно к нему подсоединяется искусственное заземление. Допускаемое сопротивление в данном случае будет определяться по формуле:

$$r'_3 = \frac{r_3 \cdot r_{e.з.}}{r_3 + r_{e.з.}},$$

где $r_{e.з.}$ – сопротивление естественного заземлителя;

r_3 – допускаемое сопротивление искусственного заземления при отсутствии естественного;

r'_3 – допускаемое сопротивление искусственного заземления при наличии естественного.

В случаях использования в качестве естественных заземлителей свинцовых оболочек кабелей, водопроводных труб либо других трубопроводов, сопротивление таких заземлителей можно определить по формуле:

$$r_{e.з.} = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot \kappa_z}{l_{e.з.}} \cdot \lg \frac{l_{e.з.}^2}{d_{e.з.} \cdot h_{e.з.}}, \text{ либо}$$

$$r_{e.з.} = \frac{\rho \cdot \kappa_z}{2\pi \cdot l_{e.з.}} \cdot \ln \frac{l_{e.з.}^2}{d_{e.з.} \cdot h_{e.з.}},$$

где $l_{e.з.}$ – длина естественного заземлителя, см;

$d_{e.з.}$ – диаметр естественного заземлителя, см;

$h_{e.з.}$ – глубина заложения (расстояние от поверхности земли до заземлителя), см;

ρ – удельное сопротивление грунта, Ом см;

κ_z – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления за счёт промерзания или просыхания грунта для горизонтально проложенных заземлителей.

7.5.1 Расчёт искусственного заземления

Искусственное заземляющее устройство состоит из вертикальных электродов и горизонтально расположенной соединительной полосы.

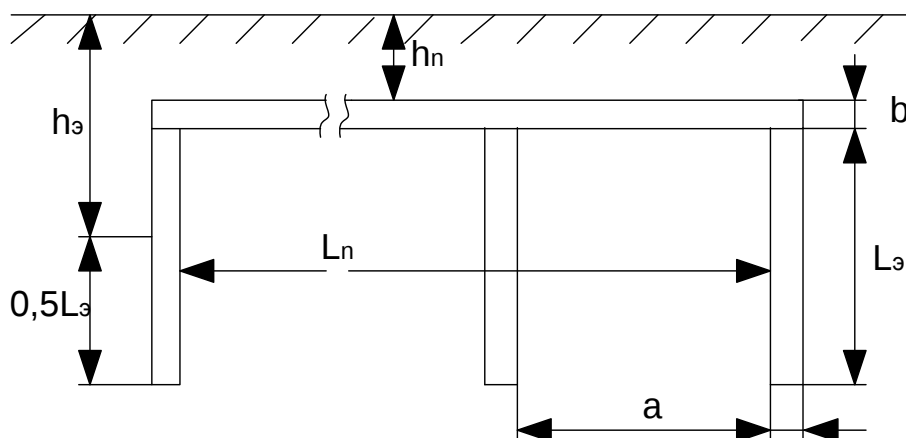


Рисунок 1 - Схема искусственного заземления

$l_{э}$ – длина электрода, см;

$d_{э}$ – диаметр электрода, см;

$h_{э.з.}$ – глубина заложения электрода, см;

a – расстояние между электродами, см;

b – ширина соединительной полосы, см;

h_n – глубина заложения соединительной полосы, см;

l_n – длина соединительной полосы, см;

Длина соединительной полосы определяется по формулам:

$$l_n = a \cdot n, \text{ если электроды расположены в ряд;}$$

$$l_n = a \cdot (n - 1), \text{ если электроды расположены по контуру;}$$

где a – количество электродов

Таким образом, расчёт защитного заземления сводится к определению необходимого количества электродов, чтобы общее сопротивление не превышало допустимого по нормам.

$R=4(\text{Ом})$, т.к. сопротивление для электроустановок напряжением до 1000В с глухим заземлением нейтрали трансформаторов должно быть не более 4 Ом. Согласно ПУЭ.

Для цеховой ТП применимо контурное заземление.

1. Определяем сопротивление одного электрода

$$r_{\text{э.}} = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot \kappa_{\text{в}}}{l_{\text{э}}} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l_{\text{э}}}{d_{\text{э.}}} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot h_{\text{э}} + l_{\text{э}}}{4 \cdot h_{\text{э}} - l_{\text{э}}} \right),$$

Материал электрода – уголковая сталь, ширина полки которой 5 см. Принимаем:

- $d_{\text{э.}} = 0,95 \cdot 5 = 4,75 \text{ см};$
- тип грунта – суглинок;
- климатическая зона

$$r_{\text{э.}} = \frac{0,366 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 1,3}{150} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 150}{4,75} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 150 + 150}{4 \cdot 150 - 150} \right) = 60,63 \text{ Ом},$$

2. Определяем предварительное количество электродов

$$n' = \frac{r_{\text{э.}}}{r'_3} = \frac{60,63}{4} = 16,$$

3. Зная положение электродов (в ряд), отношение расстояния между электродами к их длине и предварительное количество электродов n' , определим коэффициент использования электродов – η ,

$$\eta_{\text{э}} = 0,77$$

4. Определяем окончательное потребное количество электродов n

$$n = \frac{r_{\text{э}}}{r_3' \cdot \eta_{\text{э}}} = \frac{60,63}{4 \cdot 0,77} = 21,$$

5. Определяем длину соединительной полосы l_n

Так как расположение электродов было выбрано в ряд, длина соединительной полосы определяется по формуле:

$$l_{\text{э}} = a \cdot (n - 1) = 150 \cdot (21 - 1) = 3000,$$

6. Определяем сопротивление соединительной полосы

$$r_{\Pi} = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot \kappa_{\Gamma}}{l_{\Pi}} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_{\Pi}^2}{h_{\Pi} \cdot b},$$

$$r_{\Pi} = \frac{0,366 \cdot 10^4 \cdot 1,7}{3000} \cdot \lg \frac{2 \cdot 3000^2}{75 \cdot 5} = 9,7$$

7. Определяем общее сопротивление контура защитного заземления

$$r_{\Sigma} = \frac{r_{\text{э}} \cdot r_{\Pi}}{r_{\text{э}} \cdot \eta_{\Pi} + r_{\Pi} \cdot \eta_{\text{э}} \cdot n},$$

$$r_{\Sigma} = \frac{60,63 \cdot 9,7}{60,63 \cdot 0,35 + 9,7 \cdot 0,77 \cdot 21} = 3,4,$$

8. Производим проверку выполнения условия

$$r_{\Sigma} \leq r_3,$$

$$3,4 < 4$$

Полученный результат удовлетворяет требованиям и, следовательно, защитное заземление выбрано, верно.

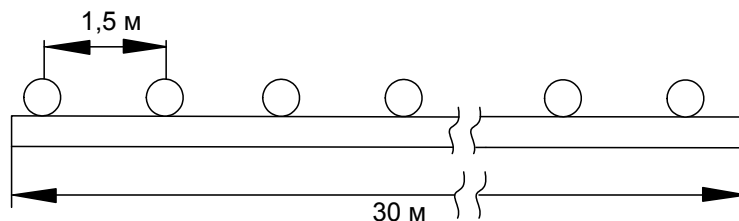


Рисунок 2 - Схема расположения электродов в ряд

7.6 Экологическая безопасность

вание.

ОАО «Томскгазпром» придерживается корпоративных принципов и экологических стандартов ПАО «Газпром», выполняет необходимые нормы и требования законодательства в области [охраны окружающей среды](#).

Экологическая безопасность производственных объектов, минимизация выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов в водные объекты и образования отходов — таковы основные направления работы компании в области охраны окружающей среды и уменьшения негативного воздействия на природу.

Обеспечение охраны окружающей среды в соответствии с Экологической политикой ПАО «Газпром» и Политикой в области охраны окружающей среды, здоровья и безопасности на производстве — один из основных корпоративных приоритетов ОАО «Томскгазпром».

[Экологическая политика ОАО «Томскгазпром»](#)

В системе управления природоохранной деятельностью сформированы следующие принципы:

— развитие и совершенствование системы экологического менеджмента компании в соответствии с действующим природоохранным законодательством;

— проведение комплекса природоохранных мероприятий как на стадиях проектирования, строительства объектов, так и на стадии эксплуатации;

— обеспечение эффективного контроля выполнения технологических и организационных мероприятий.

В начальный период формирования производственного комплекса экологическая безопасность ОАО «Томскгазпром» обеспечивалась за счет тщательно продуманных и взвешенных технических решений, предусмотренных проектами обустройства. Были внедрены эффективные технологии переработки природного газа, методы утилизации твердых и жидких отходов производства и потребления, предусмотрены противоаварийные технические решения и мероприятия.

Проектные решения, проходящие тщательную экспертизу в подразделениях компании и в государственных органах, позволяют минимизировать масштабы негативного воздействия на окружающую среду. Рекультивация нарушенных земель и лесных участков, выполняемая по окончании строительства, позволяет восстановить плодородие и статус земель, не используемых для эксплуатации построенных объектов.

Важным компонентом технологической, а значит — и экологической, безопасности является осуществление постоянного контроля за качеством строительства производственных объектов, входным контролем материалов и комплектующих, испытанием построенных объектов, непрерывной диагностики надежности эксплуатируемого оборудования.

В процессе разработки месторождений в системе добычи, сбора, предварительной подготовки и транспорта газа компанией также проводятся мероприятия, направленные на повышение экологической безопасности. В частности, ведется реконструкция действующих производств, вносятся из-

менения в противокоррозионные мероприятия, систему диагностики газопромышленного оборудования и трубопроводного транспорта, совершенствуются технологии сбора и промышленовой подготовки газа.

Использование современных технологий освоения скважин, сбора попутного нефтяного газа, герметизация основных потоков углеводородного сырья и продукции, регулярная дефектоскопия, автоматизация наиболее важных технологических процессов, вкупе с высокой технологической дисциплиной и культурой производства позволили повысить надежность оборудования и значительно снизить риск возникновения техногенных аварийных ситуаций.

Обращение с отходами, образующимися на производственных объектах Общества, осуществляется в соответствии с требованиями природоохранного законодательства. Хозяйственно-бытовые сточные воды на месторождениях ОАО «Томскгазпром» очищаются и обезвреживаются на биологических очистных сооружениях. Конструкция очистных сооружений на Северо-Останинском НМ (ботанические площадки, метод активной корневой зоны) обеспечивает эффективную очистку хозяйственных стоков при минимуме эксплуатационных затрат. Для обезвреживания твердых бытовых отходов (ТБО) месторождения ОАО «Томскгазпром» обеспечены полигонами ТБО, где происходит их захоронение и надежная изоляция от окружающей природной среды.

Как было выявлено проведенными исследованиями, буровой шлам, образующийся при бурении разведочных и эксплуатационных скважин по принятым в ОАО «Томскгазпром» технологиям относится к мало опасным или не опасным отходам производства (4 или 5 классы опасности). В то же время, в его составе имеются компоненты, используемые растениями для минерального питания. Эти особенности позволили специалистам ОАО «Томскгазпром» обосновать возможность использования бурового

шлама в качестве побочного продукта — удобряющей добавки при рекультивации лесных участков, нарушенных при строительстве.

Важным ресурсосберегающим и природоохранным направлением деятельности ОАО «Томскгазпром» в последние годы стала разработка, финансирование и реализация программы утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ).

Важным элементом производственной и экологической безопасности является разработка планов локализации аварий и ликвидации их последствий. Такие планы разработаны на все опасные производственные объекты компании.

В компании регулярно проводится инвентаризация источников негативного воздействия на окружающую среду. На их основе разработаны и поддерживаются в актуальном состоянии проекты нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты, нормативы образования и лимиты размещения отходов.

На всех месторождениях компании регулярно проводится мониторинг состояния недр и окружающей среды, производственный экологический контроль состояния территорий деятельности. В целом, по результатам мониторинга можно сделать однозначный вывод, что воздействие производственных объектов на окружающую среду находится в допустимых пределах и соответствует проектным решениям.

7.7Безопасность в чрезвычайных ситуациях

7.7.1Пожарная и взрывная безопасность

Проектирование и эксплуатация всех промышленных предприятий (кроме предприятий по изготовлению взрывчатых веществ, имеющих свои особые правила и нормы) регламентируются [11,18], а также "Типовыми правилами пожарной безопасности для промышленных предприятий ". В соответствии с [18], все производства делят по пожарной, взрывной, взрывопо-

жарной опасности на шесть категорий. Цеха холодной обработки металлов , где, как правило, устанавливаются промышленные станки, относятся к категории "Д".

По противопожарным требованиям к электрооборудованию [10], находящемуся в помещении механического цеха, это помещение можно отнести к классу помещений, опасных в отношении пожара, но не опасных в отношении взрыва, т. к. здесь используются горючие жидкости - минеральные масла - для смазки и охлаждения с температурой вспышки паров выше 45°C .

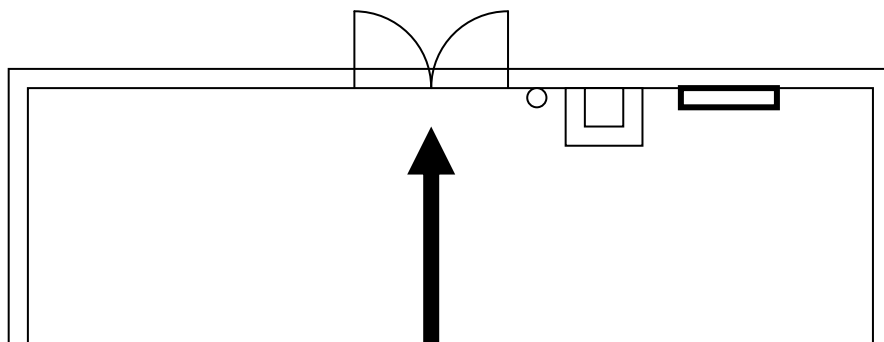
Причины пожара могут быть электрического и неэлектрического характера. Причины электрического характера:

- искрение в электроаппаратах в результате плохого контакта, электрического разряда или пробоя изоляции ;
- токи короткого замыкания, перегрузка проводников, вызывающая их нагрев ;
- плохой контакт в местах пайки и соединения проводов через наконечники и оконцеватели.

Причины неэлектрического характера :

- неисправность оборудования , отсутствие смазки и, в результате, нагрев трущихся частей;
- курение и разведение огня не в отведенных и необорудованных для этих целей местах.

Для устранения причин возникновения пожаров в механосборочном цехе проводятся специальные технико-организационные мероприятия :



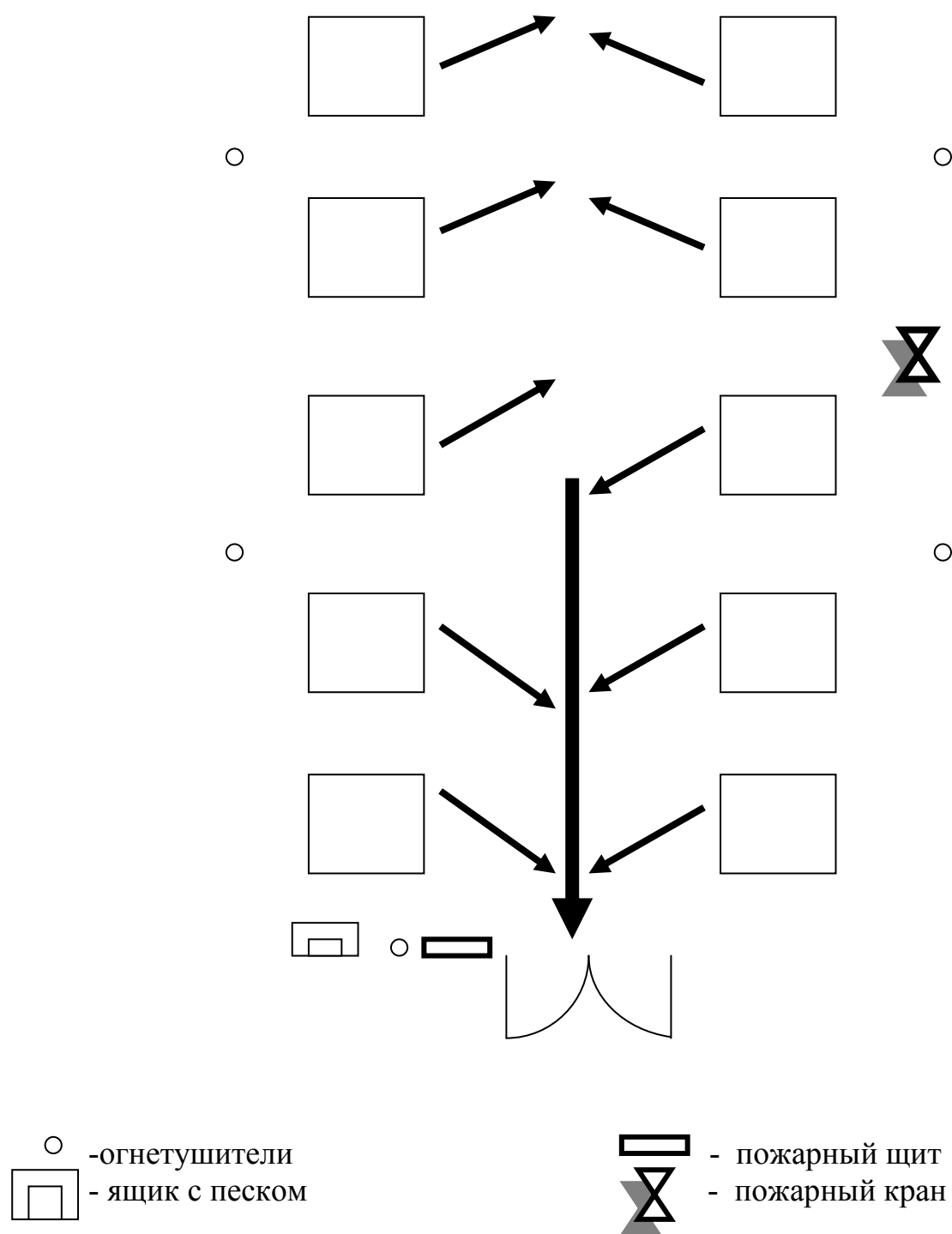


Рисунок 15.2 План эвакуации цеха при пожаре

- пожарный щит, оборудованный полным комплектом пожарного инвентаря и инструмента;

- ящики с песком для тушения пожаров под напряжением, а также огнетушители ОУ-2;
- пожарный кран.

В цехе на видном месте вывешивается соответствующая наглядная агитация по технике пожарной безопасности.

Из работников цеха организуется добровольная пожарная дружина, члены которой проводят периодический инструктаж по приемам и правилам пользования пожарным инструментом, а также контролируется техническое состояние этого инструмента и инвентаря.

Каждый рабочий инструктируется по правилам пожарной безопасности в цехах и на территории прицеховой площадки, когда этого требует производство работ.

Курение в неположенных местах строго запрещается.

Разведение открытого огня без разрешения ответственного руководителя работ в цехе и на территории прицеховой площадки строго запрещается.

Схема пожарной эвакуации работников цеха приведена на плакате, размещенном в цеху на видном месте.

Заключение

В результате выполнения ВКР разработана система регулируемого электропривода насоса на базе системы ПЧ-АД для регулирования давления в нефтяном пласте.

По результатам расчета требуемой мощности двигателя выбран электродвигатель серии АИР200М2, а также преобразователь компании ВЕСПЕР серии EI-P7012.

Проанализирован и выбран наиболее подходящий, для рассмотренного технологического процесса закон регулирования системы ПЧ-АД – скалярное управление U/f^2 . Данный вид управления позволяет получить искусственные механические характеристики с требуемой жесткостью, ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД, а также позволяет сэкономить до 60% потребляемую из сети энергию.

Результаты аналитических расчетов и имитационного моделирования подтверждают правильность выбора силовых элементов – электродвигателя и преобразователя – и реализации системы автоматического частотно-регулируемого электропривода насосной установки.

Система преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель обеспечивает требуемые характеристики насоса, а система автоматического регулирования с скалярным управлением обеспечивает поддержание технологических параметров в режимах пуска и воздействия возмущений с принятыми параметрами.

В разделе производственной и экологической безопасности проведен анализ вредных факторов, рассмотрена техника безопасности, производственная санитария, пожарная безопасность технологического процесса.

В организационно-экономической части выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода. Рассчитаны издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов, т.е. затраты на планово-предупредительные работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о центробежных насосах - Режим доступа: <http://www.rimos.ru/catalog/pump/11356>
2. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о расчете мощности насоса - Режим доступа: http://www.gusta.ru/?doc=raschet_mowel
3. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб. пособие для вузов.-2-е изд., доп. – М.: Высш. шк..2000. – 255с., ил.
4. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о частотных преобразователях фирмы ВЕСПЕР - Режим доступа: <http://chastotniki.ru/products.php?id=302>
5. Электрический привод: учебно-методическое пособие / А.Ю. Чернышев, С.И. Качин, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет, – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 156с.
6. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учебное пособие. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. 2-е изд. Перераб. И доп. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 648 с.
7. А.Ю. Чернышев. Электропривод переменного тока: учебное пособие/ А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218с.
8. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983.-616 с. ил.
9. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О. П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин; Томский по-

литехнический университет. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 476 с.

10. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Н.В. Кояин, О.П. Мальцева, Л.С. Удут; Имитационные модели в среде моделирования MATLAB–Simulink, Методика настройки систем управления электропривода. Исследование электропривода посредством компьютерного моделирования, Томск, 2014г.- 149с.

11. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть1.- Введение в технику регулирования линейных систем. Часть2. – Оптимизация контура регулирования.: Учеб. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 144 с.