

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электропривод питателя сырого концентрата</b>

УДК 62-83:621.86.067.2

**Студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ходжанов Кунзах Кулимбаевич		

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

**Консультант**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Клыжко Е.Н.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

## Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

\_\_\_\_\_ А.С. Ивашутенко

(Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
----------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Ходжанову Кунзаху Кулимбаевичу

Тема работы:

<b>Электропривод питателя сырого концентрата</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; синтез и анализ линейной системы автоматического управления регулируемого электропривода; синтез и анализ нелинейной САУ РЭП; расчет статических и динамических характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>- схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2019г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		
Ассистент	Клыжко Е.Н.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ходжанов Кунзах Кулимбаевич		05.04.2019г.

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

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)  
 Отделение Электроэнергетики и электротехники  
 Профиль Электропривод и автоматика  
 Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

**Бакалаврская работа**

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсо-сбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Клыжко Е.Н.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ**

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

## Техническое задание

Разработать электропривод шнекового питателя сырого концентрата, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и условиям.

1. Напряжение питающей сети переменного трехфазного тока  $U_c=380\text{В}$ , частота  $f_c=50\text{Гц}$ .

2. Отклонение напряжения питающей сети от номинального значения  $\pm 10\%$ .

3. Нагрузка реактивная.

4. Режим работы – продолжительный.

5. Диапазон регулирования  $D=1:10$ .

6. Электропривод питателя – нереверсивный.

7. Управление электроприводом - ручное, с блочного щита вахтенным персоналом.

8. Электропривод должен обеспечить поддержание заданной частоты вращения с погрешностью не более 10 % во всем диапазоне регулирования.

9. Максимальное напряжение управления  $U_y=10\text{В}$ .

10. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания;

11. Выбранный электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, запыленности, иметь закрытое исполнение и высокий класс изоляции.

12. Выбранный преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от  $5^\circ$  до  $45^\circ \text{С}$  и относительной влажности не более 80%.

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 118 страницы машинописного текста, 26 рисунка, 19 таблиц, 24 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: шнековый питатель, электропривод постоянного тока, система автоматизированного регулирования скорости, динамические и статические характеристики, имитационное моделирование.

Объект исследований - электропривод питателя.

Цель работы – модернизация электропривода шнекового питателя сырого концентрата с использованием имеющегося оборудования.

В работе произведён расчет и выбор электродвигателя постоянного тока типа 2ПО180ЛУХЛ4,  $P=16\text{кВт}$ ; комплектного регулируемого электропривода серии ЭПУ1-14047ЕУХЛ4; токоограничивающего реактора РТСТ-41-1.01 93; сглаживающего реактора РТП-3, рассчитаны параметры силовой цепи. Определена область существования электромеханических характеристик привода, произведен расчет логарифмических амплитудно-частотных характеристик замкнутого контура ЭДС, расчет переходных процессов нелинейной САУ.

Выполнено имитационное моделирование системы автоматического управления электропривода. В работе проведены исследования проектируемого электропривода с учетом ограничения выходного напряжения регулятора ЭДС, дискретности преобразователя. Механическая система рассмотрена в одно-массовом представлении.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word., в работе использованы программы Matlab MathCAD, , Microsoft Power Point.

## Содержание

Введение.....	10
1 Описание технологического процесса.....	11
1.1 Индивидуальная схема пылеприготовления.....	11
1.2 Шаровая барабанная мельница Ш-16.....	14
1.3 Шнековый питатель сырого концентрата.....	18
1.4 Редуктор.....	19
1.5 Определение момента инерции шнека.....	20
1.6 Кинематическая схема механизма.....	23
1.7 Расчетная схема механической системы электропривода.....	24
2 Выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода.....	25
2.1 Обоснование выбора рода тока и типа электропривода.....	25
2.2 Выбор электродвигателя.....	29
2.3 Выбор преобразователя.....	33
2.4 Выбор токоограничивающего реактора.....	35
2.5 Выбор сглаживающего реактора.....	36
2.6 Расчетные параметры якорной цепи.....	38
2.7 Проверка области существования электромеханических характеристик электропривода.....	40
2.8 Электромеханические характеристики системы преобразователь-двигатель.....	42
2.9 Структурная схема силового канала электропривода.....	47
3 Синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода.....	48
3.1 Функциональная схема электропривода.....	48
3.1.1 Силовая схема якорной цепи.....	48
3.1.2 Система импульсно-фазового управления якорной цепи.....	48
3.1.3 Система импульсно-фазового управления цепи возбуждения.....	50
3.1.4 Датчик напряжения.....	52
3.1.5 Регулятор скорости.....	52
3.1.6 Адаптивное устройство.....	53
3.1.7 Защита, сигнализация и обменные сигналы.....	53
3.1.8 Блок питания.....	58
3.2 Структурная схема линеаризованной САУ РЭП.....	59
3.3 Оптимизация контура тока.....	61
3.4 Оптимизация контура ЭДС.....	62
3.5 Расчет статических характеристик электропривода.....	64
3.6 Структурная схема нелинейной САУ электропривода.....	69
3.7 Расчет переходных процессов в нелинейной САУ РЭП.....	72
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	75
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	76
4.1 SWOT-анализ электропривода питателя сырого концентрата.....	76



4.2. Планирование технического проекта.....	80
4.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования..	80
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ .....	81
4.2.3. Разработка графика проведения технического проекта.....	82
4.3 Составление сметы технического проекта.....	85
4.3.1 Расчет материальных затрат.....	85
4.3.2. Полная заработная плата исполнителей ВКР .....	86
4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	87
4.3.4. Накладные расходы.....	88
4.3.5. Формирование сметы технического проекта .....	88
4.4. Определение ресурсоэффективности проекта .....	89
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	92
5. Социальная ответственность .....	93
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	93
5.2 Производственная безопасность .....	95
5.2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	96
5.3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	98
5.4. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов .....	100
5.5 Экологическая безопасность .....	102
5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	103
5.6.1 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок;.	104
5.6.2 Воспламенения изоляции вследствие повышения температуры .....	104
Заключение .....	106
Список использованной литературы.....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	110

## **Введение**

Мундыбашская обогатительно-агломерационная фабрика, одно из старейших горнорудных предприятий Кемеровской области, исполнилось. За годы работы на фабрике было произведено более 111,5 млн. тонн агломерата и более 120 млн. тонн железорудного концентрата. Своим рождением предприятие обязано строительству в Кузбассе Кузнецкого металлургического комбината (КМК). Строительные работы у слияния рек Тельбес и Мундыбаш начались весной 1931 г. Четыре года спустя, 20 марта 1935 года, на КМК был отгружен первый состав с агломератом. Фабрика перерабатывала промышленный продукт (первичные концентраты) железных рудников, расположенных на юге Кемеровской области, в том числе Темиртауского, Казского, Шерегешского и Таштагольского. Максимально достигнутая мощность фабрики по обогащению исходного промпродукта составляет 3,6 млн. т в год, по производству офлюсованного агломерата – 2,5 млн. т в год.

В связи с весьма солидным сроком эксплуатации фабрики (более 70 лет) основные ее здания и технологические сооружения пришли в ненадлежащее состояние. Ежегодные ремонтно-восстановительные работы позволяют поддерживать стабильную работоспособность только обогатительного производства. В связи с современными высокими требованиями к качеству агломерационного концентрата, а также по причинам несовершенства технологического процесса его получения, мундыбашский концентрат оказался невостребованным основными потребителями КМК и ЗСМК и в 1994 году после реконструкции и технологического перевооружения фабрика переориентировалась в монопрофильную – обогатительную, агломерационное производство было закрыто.

В проект реконструируемых объектов фабрики были включены обогатительное производство, а также строительство нового корпуса сушки концентрата в зимний период.

## **1 Описание технологического процесса**

### **1.1 Индивидуальная схема пылеприготовления**

Подготовка твердого топлива для сжигания его в факельных топках производится в пылеприготовительных установках. Для превращения твердого топлива в пыль необходимо осуществить следующие схемы пылеприготовления: первичную обработку, сушку, размол, отделение готовой пыли от неготовой, требующей дополнительного размола.

Первичная обработка топлива заключается в удалении из него металлических предметов и щепы, грохочении и дроблении. Удаление металлических предметов производится для предотвращения поломки механизмов системы пылеприготовления. Для удаления металлических предметов (болтов, гаек, железнодорожных костылей и т.д.) применяются магнитные сепараторы. Щепоуловители служат для удаления из топлива древесной щепы, попадающей в него при добыче. При попадании щепы в пылеприготовительную установку она забивает элементы системы.

Грохочение применяется для отделения крупных кусков топлива от мелких. Для этого топливо пропускают сквозь качающиеся сита - решетки с размером отверстий 10-15 мм. Куски более 10-15 мм направляются в дробилки, а меньшего размера - мимо дробилок. Качество дробления определяют путем отсева дробленого топлива на сите с размером ячеек 5x5 мм. Обычно дробление топлива производят так, чтобы остаток на сите с указанными ячейками составлял примерно 20 %.

Дробление топлива производят в молотковых дробилках. В молотковой дробилке дробление топлива происходит за счет удара вращающихся молотков, шарнирно укрепленных на роторе. Предварительное дробление топлива повышает эффективность его сушки и превращения в пыль. Чаще всего процессы сушки и размола совмещают, производя их в устройствах, называемых мельницами.

Отделение готовой пыли в процессе размола топлива осуществляется в сепараторах. Это необходимо потому, что при размоле образуются мелкие (готовые) и крупные (неготовые) пылинки. Если готовые пылинки своевременно не удалить из мельницы, то они будут переизмельчаться, излишне загружая мельницу. При этом производительность мельницы снизится, а расход электроэнергии возрастет.

На рисунке 1 приведена схема индивидуального пылеприготовления с пылевым бункером для шаровых барабанных мельниц при подаче пыли горячим воздухом с температурой больше  $350^{\circ}\text{C}$ .

На мундыбашской обоготительной фабрике применяют схему с индивидуальной системой пылеприготовления. При индивидуальной схеме с промежуточным бункером пыли и замкнутым циклом сушки мельницы располагаются у котлов. Готовая пыль из сепаратора подается вентилятором мельницы в циклон, в котором она отделяется от сушильного агента, после чего, пройдя через установленные под циклоном мигалки и сетки для улавливания щепы, пыль поступает в промежуточный бункер. С помощью перекидных клапанов пыль из циклона можно направлять реверсивным шнеком в промежуточные бункера соседних котлов.

Под промежуточным бункером устанавливаются питатели пыли, подающие ее в смесители пылепроводов. В смесителе пыль подхватывается горячим воздухом или отработавшим воздухом из циклона и транспортируется в горелки топki. При остановленной мельнице пыль подается в топку горячим воздухом. В схеме с рециркуляцией в топку подается из мельницы не весь воздух, так как часть его после мельничного вентилятора возвращается в мельницу.

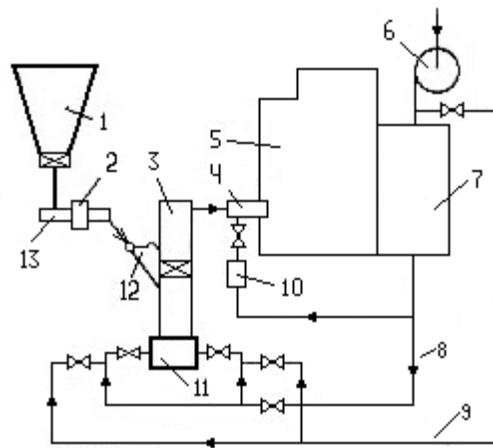


Рисунок 1- Индивидуальная схема приготовления с пылевым бункером  
 1 – топливный бункер; 2 – весы; 3 – гравитационный сепаратор; 4 амбразура (горелка); 5 – топка парогенератора; 6 – дутьевой вентилятор; 7 - воздухоподогреватель; 8 – воздухопровод горячего воздуха; 9 – воздухопровод холодного воздуха; 10 – короб вторичного воздуха; 11 – молотковая мельница; 12 - мигалка; 13 – питатель топлива.

По сравнению со схемой с прямым вдуванием схема с промежуточным бункером обладает значительными недостатками схемы: значительные начальные финансовые вложения, связанные с увеличением размеров здания пылеприготовительного устройства; ввод новых единиц сопутствующего оборудования: циклонов, промежуточного бункера, питателей пыли, пылевых шнеков и т. п.

Преимущества схемы с промежуточным бункером:

- уменьшается износ ротора мельничного вентилятора, работающего на обеспыленном в циклоне воздухе;
- увеличивается гибкость регулирования питателями подачи пыли в топку;
- снижаются удельный расход электроэнергии на размол и удельный износ металла, поскольку мельницы работают с максимальной и ровной нагрузкой;
- повышается надежность снабжения пылью котельного агрегата

благодаря промежуточному бункеру и взаимной связи всех сушильно-мельничных систем котлов пылевыми шнеками;

– устанавливаемые мельницы могут выбираться с меньшим запасом по производительности.

## **1.2 Шаровая барабанная мельница Ш-16**

Мельницы шаровые барабанные вентилируемые предназначены для размола до пылевидного состояния антрацитов, каменного и бурого угля, сланцев и других материалов и рассчитаны на непрерывную работу в пылеприготовительных системах на обогатительных фабриках и в других отраслях промышленности.

Шаровая барабанная мельница Ш-16 относится к классу тихоходных рудоразмольных мельниц, производительностью 16 т/ч. Барабан этой мельницы, делающий 16-23 об/мин, вращается с окружной скоростью 2,5-3 м/сек. Типоразмер шаровой мельницы с цилиндрическим барабаном обозначают в виде дроби, числитель которой равен диаметру цилиндрической части, а знаменатель длине барабана, выраженной в сантиметрах. Основная деталь конструкции — вращающийся барабан, частично заполненный шариками определённого диаметра из стали. Шаровая мельница работает в условиях непрерывной подачи сырья на входе и с обработкой готового продукта на выходе.

Шаровая барабанная мельница характеризуется простотой конструкции и надёжностью в эксплуатации. Она имеет цилиндрический стальной корпус — барабан, изнутри покрытый броневыми плитами. Барабан заполнен стальными шарами и приводится во вращение через венцовое колесо, соединённое с редуктором. Мельница опирается на подшипники, расположенные в цапфах.

На рисунке 2 приведена ШБМ, состоящая из корпуса, к днищам которого примыкают полые цилиндрические цапфы, внутри которых вставлены втулки со спиральными выступами, способствующими ускорению подачи топлива и возврату шаров в барабан.

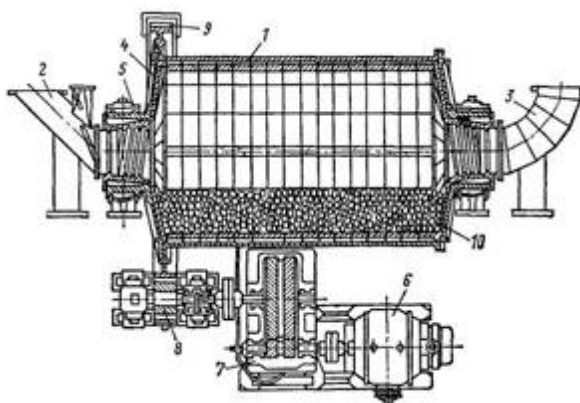


Рисунок 2 - Шаровая барабанная мельница ШБМ 287/470

1 – стальной барабан; 2 – патрубок для горячего воздуха и топлива; 3 – пылевыводящий патрубок; 4 – торцевая стенка; 5 – подшипник; 6 – электродвигатель; 7 – редуктор; 8 – ведущая шестерня; 9 – ведомая шестерня; 10 - стальные шары

Мельница представляет собой цилиндрический барабан диаметром 3 м при длине 4,6 м, выложенный внутри волнистыми броневыми плитами из марганцовистой стали. До 25–35% объема барабана заполнено стальными шарами диаметром 40 мм. Размол топлива в ШБМ осуществляется в основном по принципу удара, а также истирания. Частота вращения барабана 16–23 об/мин. При вращении барабана шары поднимаются на определенную высоту, затем падают и разбивают кусочки угля. Частично пыль в мельнице получается и за счет истирания угля при перекачивании шаров.

Для подсушки или частичной досушки топлива в мельницу подается горячий воздух или газозвдушенная смесь с температурой не выше 450 °С. Эти газы служат также для выноса пыли из мельницы

Положительной особенностью ШБМ является её универсальность - размол с одновременной сушкой как мягких топлив с повышенной влажностью, так и твердых топлив, например антрацитовый штыб (АШ). В ШБМ возможно получать пыль любой тонкости; возможно достижение большой единичной мощности агрегата. В ШБМ отсутствует опасность аварии при попадании в мельницу вместе с углем металлических частей.

К недостаткам ШБМ относятся громоздкость и сложность оборудования; значительный удельный расход энергии на пылеприготовление, достигающий при работе на АШ до 25–35 кВт·ч на 1 т пыли. В связи с высоким коэффициентом холостого хода (характеризующим затраты энергии на вращение барабана без топлива), достигающим для ШБМ до 95%, потребляемая мельницей мощность практически не зависит от нагрузки. Поэтому для снижения удельного расхода электроэнергии ШБМ следует использовать на режиме максимально возможной производительности. Недостатком ШБМ является также значительный износ металла (шаров) при ее работе (при приготовлении 1 т пыли АШ истирается около 400 г. металла). Металлический порошок попадает в угольную пыль, что уменьшает температуру плавкости золы.

Размол угля происходит за счет ударного и раздавливающего действия стальных шаров, загруженных в барабан. Мельница состоит из следующих узлов:

а) стального барабана, футерованного внутри броневыми плитами и закрытого по торцам торцевыми крышками, являющимися одновременно опорными цапфами вращающегося барабана.

б) двух чугунных коренных подшипников с баббитовой заливкой,

в) приводной зубчатой передачей, состоящей из зубчатого венца, закреплённого на задней торцевой стенке барабана, и приводной шестерни, закреплённой в подшипниках, установленных на фундаментальной раме;

г) одноступенчатого редуктора;

д) соединительных муфт;

е) двух патрубков – углеподающего и пылевыдающего;

ж) защитных кожухов и фундаментальных рам;



з) системы смазки коренных подшипников, приводной зубчатой и редуктора;

и) электрооборудования;

к) шаров загруженных в барабан.

Барабан представляет собой цилиндр Ø 287 см. и толщиной 20 мм. Броневые плиты из высокомарганцевой стали имеют волнообразную форму с глубиной волны 43 мм и уложены на внутренней поверхности цилиндра на листовую асбестовую прокладку толщиной 10 мм. Снаружи барабан покрыт войлоком толщиной 40 мм для звуковой изоляции. Войлочное покрытие обтянуто стальными листами толщиной 2 мм. Крепление брони к барабану осуществляется болтами и клиньями. Клинья подтянуты к барабану болтами высокой прочности. По краям барабан замыкается торцевыми стенками, которые с внутренней стороны защищена гладкой бронёй. Цапфы торцевых стенок полые с воздушным зазором – для уменьшения нагрева подшипников. Во внутренней полости цапф укреплены вставные втулки со спиральными выступами разных направлений на входной и выходной стенках. Спиральные выступы предназначены для ускорения подачи угля и возвращения в барабан мельницы шаров и других предметов, попавших в полость втулки. Торцевые стенки крепятся болтами к фланцам барабана. Выходной фланец является опорой зубчатого венца привода. Опорные (коренные) подшипники, на которых лежит барабан мельницы, выполнены скользящего типа. Они состоят из нижней части (корпуса) и крышки. Корпус выполнен с каналами для циркуляции охлаждающей воды. Внутренняя поверхность чугунного корпуса залита баббитом.

Редуктор состоит из зубчатой пары с косыми зубьями и является первой ступенью передачи. В нижней части картер с отверстием для указателя уровня масла. Редуктор соединён с электроприводом пальцевой втулочной муфтой.

Ведомый вал с валом шестерён второй ступени передачи соединён зубчатой муфтой. Муфта с внутренним зубчатым зацеплением со своей смазкой в кожухе.

### 1.3 Шнековый питатель сырого концентрата

Устойчивая безаварийная работа непрерывно действующих измельчителей, возможна, если подача сырья регулярна во времени и равномерна по рабочей зоне, т.е. исключается завал, холостой ход и неравномерный износ их рабочих элементов. Для реализации регулярной и равномерной подачи твердого сыпучего материала применяются машины, называемые питателями.

Конструкции питателей включают транспортирующий механизм с регулируемым приводом, обеспечивающий движение материала через рабочую камеру, ограничитель, позволяющий изменять сечение потока материала, и устройства, исключающие обратное движение материала.

Шнековый питатель сырого концентрата (ШПСК) осуществляет загрузку концентрата из приемного штуцера 4 через рабочую камеру по средством винта 5 в отводный штуцер и затем в мельницу Ш-16.

Общий вид питателя приведен на рисунке 3.

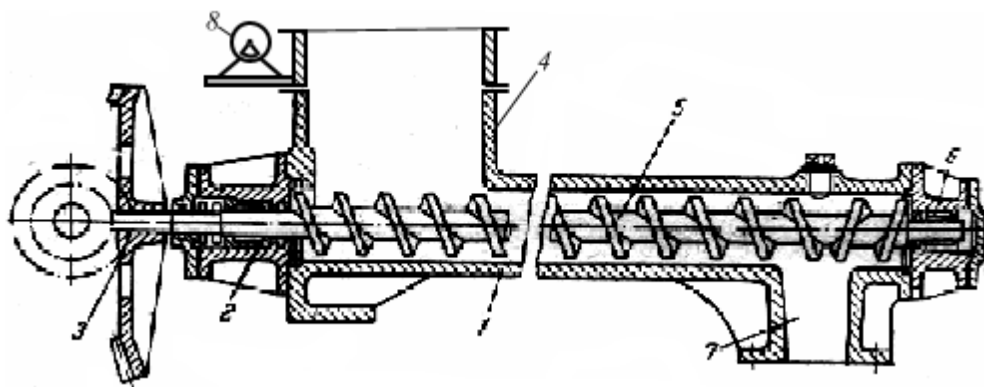


Рисунок 3- Общий вид питателя сырого концентрата

1 - корпус; 2 – упорный подшипник; 3 – зубчатое колесо; 4 – приемный штуцер;  
5 - винт; 6 – опорный подшипник; 7 - отводный штуцер; вибровозбудитель

## 1.4 Редуктор

В качестве редуктора установлен зубчатый редуктор серии РМ-400. Редуктор РМ-400 общемашиностроительного применения предназначены для увеличения крутящего момента и уменьшения частоты вращения. При малых передаточных числах применяют одноступенчатые редукторы.

Редуктор РМ-400 представляет собой двухступенчатый цилиндрический горизонтальный редуктор, который имеет постоянное передаточное отношение. Редуктор состоит из чугунного корпуса с крышкой в цилиндрической косозубой передачи, размещенной внутри корпуса. Вал зубчатой передачи быстроходный, промежуточный и тихоходный установлены в подшипниках качения и располагаются в одной плоскости по линии разъема корпуса и крышки.

Быстроходный вал-шестерня с выступающим коническим концом соединяется с двигателем эластичной муфтой либо ременной или цепной передачей. Промежуточный вал-шестерня с насаженным на него зубчатым колесом сцепляется с быстроходным валом-шестерней. Шестерня промежуточного вала сцепляется с зубчатым колесом, насаженным на тихоходном валу. На выходной конец тихоходного вала редуктора насаживается муфта, соединяющая редуктор с машиной. Концы быстроходного и тихоходного валов проходят через крышки с лабиринтными уплотнениями 8, предотвращающими течь масла.

С этой же целью, а также для защиты подшипников от механического воздействия струи масла, на быстроходном и промежуточном валах установлены маслоотражатели. Корпус и крышка редуктора соединены болтами. Взаимное положение корпуса и крышки редуктора фиксируется коническими штифтами. Плоскость разъема редуктора окрашивается шеллаком или спиртовым лаком. Внутренняя полость редуктора окрашена маслястойкой краской.

Для заливки масла в редуктор, а также для наблюдения за состоянием зубчатых передач, в верхней части крышки редуктора имеется смотровая крышка, прикрепленная к крышке редуктора болтами. Во избежание

повышения давления при разогреве масла во время работы, внутренняя полость редуктора сообщается с атмосферой через отдушину на смотровой крышке. Для выпуска масла из редуктора в нижней части корпуса имеется отверстие, закрытое резьбовой пробкой. Для съема крышки редуктора при его разборке и для подъема редуктора при монтаже или демонтаже, в верхней части крышки имеется два ушка, в которые продеваются крючья или трос. Для наблюдения за уровнем масла в редукторе в нижней части корпуса установлен маслоуказатель, который представляет собой стержень (иглу), с нанесенными на нем двумя рисками, являющимися границами уровня масла. Передаточное число редуктора РМ-400  $i=16$ .

### 1.5 Определение момента инерции шнека

С помощью шнека концентрат поступает из бункера в течку сырого концентрата и далее в шаровую барабанную мельницу.

На рисунке 5 изображен применяемый конический шнек с большим диаметром 395 мм и малым диаметром 355 мм. Направление спирали шнека левое с постоянным шагом 290 мм.

Шнек состоит из следующих деталей:

1. цапфа общей длиной 260 мм и массой 12 кг;
2. труба общей длиной 3545 мм, внешним диаметром 133 мм,
3. внутренним диаметром 121 мм и массой 127 кг;
4. виток в количестве 10 штук и общей массой 112 кг;
5. цапфа общей длиной 395 мм и массой 19 кг.

Для определения момента инерции шнека разобьем его на отдельные составляющие его части и для каждой части найдём момент инерции.

Момент инерции первой цапфы (рисунок 6)

$$J_1 = m_1 \times \frac{R_1^2}{2} = 12 \times \frac{0.047^2}{2} = 0.013 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где  $m_1 = 12$  кг – масса первой цапфы;

$$R_1 = \frac{109 + 80}{4} \times 10^{-3} = 0.047 \text{ мм} \text{ – средний радиус цапфы 1.}$$

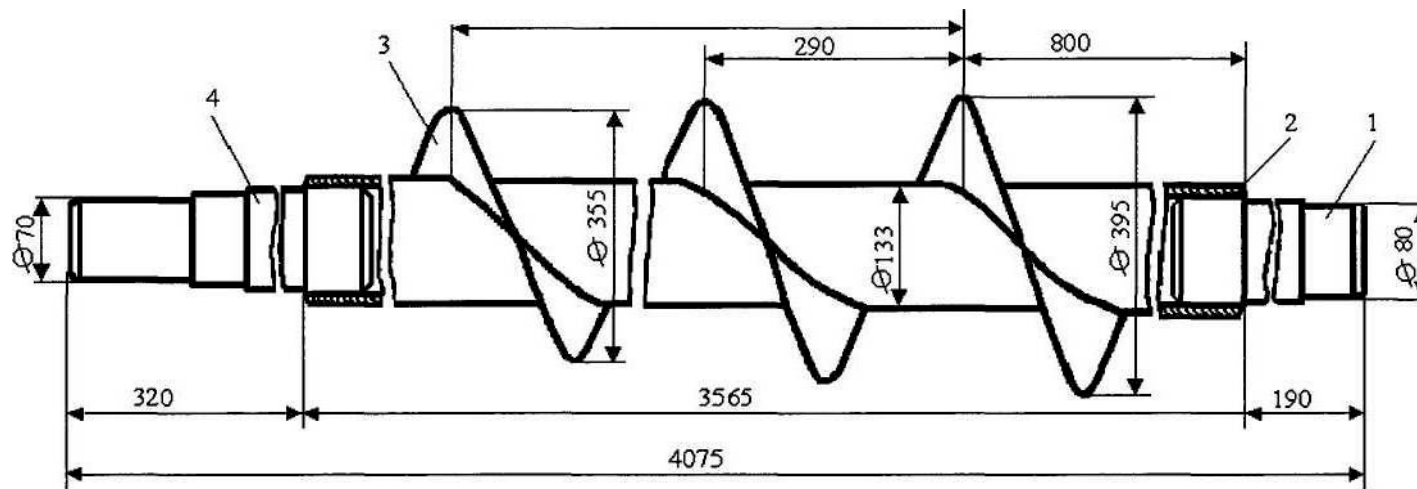


Рисунок 5- Шнек конический: 1-цапфа; 2-труба; 3-виток; 4-цапфа

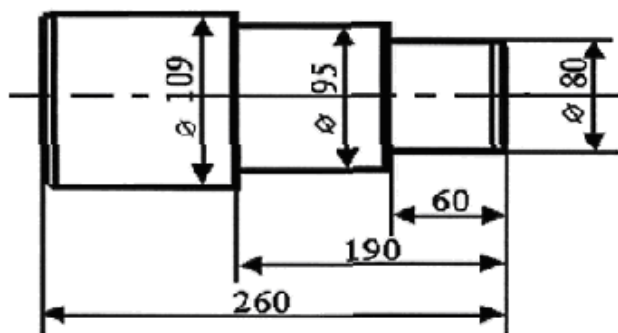


Рисунок 6 – Цапфа 1

Момент инерции для второй цапфы (рисунок 7)

$$J_2 = m_2 \times \frac{R_2^2}{2} = 19 \times \frac{0.04475^2}{2} = 0.019 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где  $m_2 = 19 \text{ кг}$  – масса первой цапфы;

$$R_2 = \frac{109 + 70}{4} \times 10^{-3} = 0.04475 \text{ м} \text{ – средний радиус цапфы 2.}$$

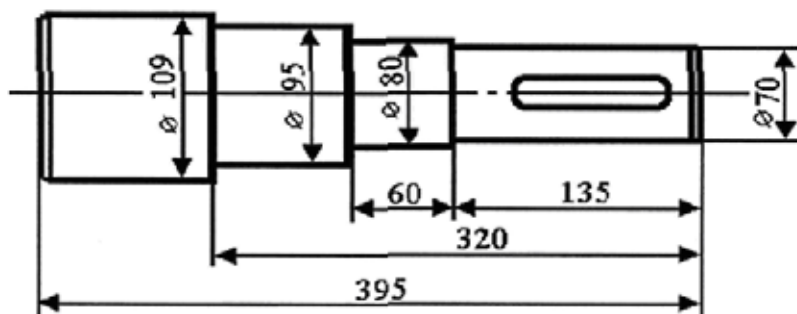


Рисунок 7 – Цапфа 2

Момент инерции витков шнека

$$J_3 = m_3 \times \frac{R_3^2 + r^2}{2} = 112 \times \frac{0.1875^2 + 0.0665^2}{2} = 3.61 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где  $m_3 = 112 \text{ кг}$  – масса витков шнека;

$$R_3 = \frac{395 + 355}{4} \times 10^{-3} = 0.1875 \text{ м} \text{ – средний наружный радиус витка}$$

шнека;

$$r_3 = \frac{133}{2} \times 10^{-3} = 0.0665 \text{ м} \text{ – внутренний радиус витка.}$$

Момент инерции трубы (рисунок 8)

$$J_4 = m_4 \times \frac{R_4^2 + r_4^2}{2} = 127 \times \frac{0.0665^2 + 0.06^2}{2} = 1.02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где  $m_4 = 127 \text{ кг}$  – масса трубы;

$R_4 = 0.0665 \text{ м}$  – наружный радиус трубы;

$r_4 = 0.06 \text{ м}$  – внутренний радиус трубы.

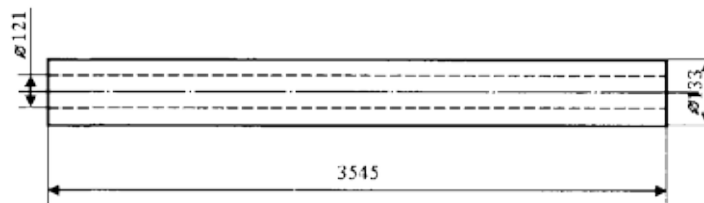


Рисунок 8 – Труба

Момент инерции шнека

$$J_{\text{ш}} = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 = 0.013 + 0.019 + 3.61 + 1.02 = 4.66 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент инерции шнека, приведенный к валу двигателя

$$J_{\text{ш.пр}} = \frac{J_{\text{ш}}}{i^2} = \frac{4.66}{16^2} = 0.0182 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

## 1.6 Кинематическая схема механизма

Кинематическая схема механизма приведена на рисунке 9.

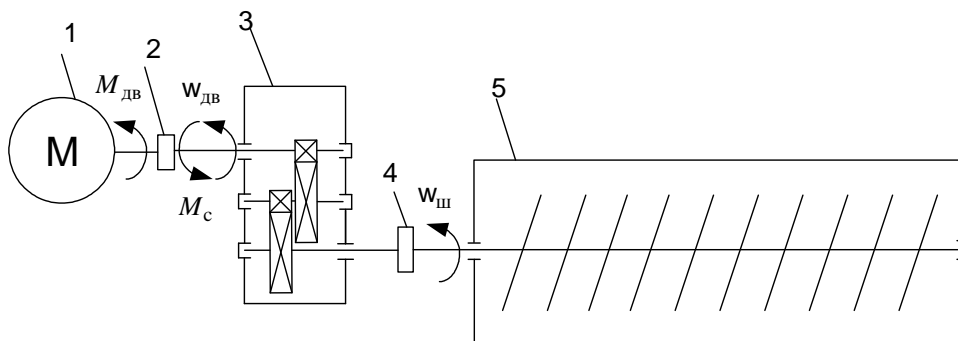


Рисунок 9-Кинематическая схема

1-электродвигатель; 2,4-жесткая муфта; 3-редуктор; 5- шнек;  $M_{\text{дв}}$ - вращающий момент, развиваемый приводным двигателем;  $M_{\text{с}}$ -момент сопротивления механизма;  $\omega_{\text{дв}}$  и  $\omega_{\text{ш}}$ -угловые скорости двигателя и шнека

## 1.7 Расчетная схема механической системы электропривода

Расчетная схема механизма системы принята одномассовой (рисунок 10).

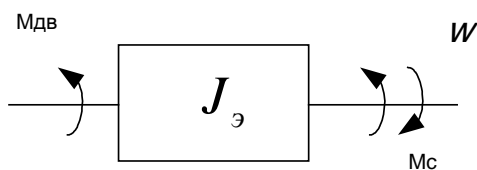


Рисунок 10 – Расчетная схема механической системы электропривода

Принятые обозначения:

$M_{дв}$  – вращающий момент, развиваемый на валу электродвигателя;

$M_{с}$  – момент сопротивления;

$\omega$  – угловая скорость;

$J_{э}$  – эквивалентный момент инерции привода.



## **2 Выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода**

### **2.1 Обоснование выбора рода тока и типа электропривода**

Одним из наиболее значимых этапов проектирования является выбор системы электропривода. От правильности выбора системы электропривода будет зависеть технический и экономический успех проекта. Для этого необходимо провести анализ нескольких различных систем электропривода и остановиться на той, которая будет максимально удовлетворять экономические и технические требования, предъявляемые к электроприводу.

Проведем простой сравнительный анализ нерегулируемых приводов переменного и постоянного тока.

– электродвигатель постоянного тока более сложен конструктивно, требует постоянного обслуживания, следовательно значительно дороже и менее надёжен; кроме того, существуют трудности при исполнении двигателей со степенью защиты IP54;

– асинхронный электродвигатель переменного тока более прост, надёжен и не прихотлив обслуживания.

Если коснуться регулируемых электроприводов, то сравнительная оценка электродвигателей, преобразователей и регулируемых приводов постоянного и переменного тока будет весьма неоднозначной.

Коэффициент полезного действия (КПД) асинхронных двигателей больше, в зависимости от мощности, по сравнению с двигателями постоянного тока. Однако, тепловые потери в асинхронном электродвигателе удалить сложнее, так как теплоотвод значительно ограничен, причём на малых скоростях вращения ситуация ухудшается. В регулируемых электроприводах с асинхронными двигателями используются в основном двигатели общего назначения с внешним обдувом поверхностей. Внешний обдув

характеризуется меньшей эффективностью, но широко применяется для охлаждения двигателей, работающих в загрязнённой атмосфере, например в запылённых помещениях (степень защиты IP54).

Что касается электродвигателей постоянного тока, то тепловые потери в них не зависят от скорости вращения и легко удаляются при использовании принудительной вентиляции, т.к. все двигатели постоянного тока для регулируемых приводов проектируются с внутренней принудительной вентиляцией.

Регулирование скорости электродвигателей ниже основной (номинальной) для двигателя постоянного тока и синхронной для асинхронного двигателя осуществляется при постоянном потоке, что обеспечивает постоянство развиваемого двигателем момента. Регулирование скорости выше основной производится ослаблением поля двигателя, что обеспечивает постоянство отдаваемой двигателем мощности.

С ростом скорости вращения ухудшается коммутация двигателя постоянного тока и приходится уменьшать ток двигателя, следовательно, и отдаваемую им мощность.

Ограничение отдаваемой мощности асинхронного двигателя в зоне больших скоростей вызвано уменьшением критического момента двигателя в пропорциональной зависимости от скорости вращения. Нормальные значения для максимального диапазона регулирования в стандартном асинхронном электродвигателе из-за наличия опрокидывающего момента лежат в пределах от 1:1.5 до 1:2.5. В области малых скоростей из-за проблем с охлаждением асинхронного двигателя необходимо уменьшать его нагрузку.

Возможность работы с кратковременной перегрузкой зависит не только от параметров электродвигателя, но и от выбора типоразмера тиристорного преобразователя или преобразователя частоты. Практически чаще всего имеет место двукратная допустимая перегрузка по моменту.

Сравнив характеристики двигателей можно сделать вывод, что двигатель

постоянного тока имеет следующие преимущества над асинхронным:

- при продолжительном режиме работы на малых скоростях вращения;
- имеет значительно больший диапазон регулирования скорости вращения.

При питании асинхронного электродвигателя от преобразователя частоты напряжение на двигателе и ток двигателя имеют несинусоидальный характер и изменяются по амплитуде и частоте в широком диапазоне. В результате пульсации момента двигателя также имеют переменные значения амплитуды и частоты, которые сильно зависят от принципа функционирования преобразователя и режима работы устройства. Это существенно увеличивает вероятность возникновения резонансных колебаний в механической части электропривода. Выходное напряжение преобразователя содержит в себе высоковольтные пульсации, пики которых при большой длине кабеля могут превышать удвоенное номинальное напряжение двигателя. Для устранения этого недостатка необходимо повысить класс изоляции двигателя или использовать дроссель при подключении двигателя. Появляющиеся при работе преобразователя частоты электромагнитные излучения и связанные с ними помехи, требуют применения дополнительных средств, для решения проблемы электромагнитной совместимости.

При питании от преобразователя постоянного тока подводимое к двигателю напряжение состоит из частей синусоидального напряжения питающей сети. Это является причиной пульсаций тока и момента электродвигателя с частотой 300 Гц для 3-х фазной мостовой схемы. Эта частота лежит за пределами резонансных частот механической системы привода и, вследствие этого, не создаёт каких либо проблем. Максимальное напряжение на клеммах электродвигателя равно амплитудному значению напряжения питающей сети. Проблемы электромагнитной совместимости преобразователя с сетью решаются при весьма незначительных затратах.

При мощности более 100 кВт преобразователи частоты требуют для монтажа свободного места, примерно, до трёх раз больше, чем тиристорные

преобразователи.

Коммутация вентиля в тиристорном преобразователе естественная и возможна только в определённые периоды времени. Ток включенного по цепи управления тиристора нарастает с той же скоростью, с какой спадает до нуля ток выключающегося тиристора. Скорость изменения тока вентиля ограничена параметрами коммутируемых цепей. Полностью управляемые вентили инвертора прерывают протекающий через них ток практически мгновенно. Такая коммутация не зависит от напряжения сети, возможна в любой период времени, но при этом возникает больше помех, высокочастотных перенапряжений, что создаёт проблемы электромагнитной совместимости преобразователя частоты с сетью и электродвигателем.

Преобразование энергии в тиристорном преобразователе происходит один раз, а в преобразователе частоты - два раза. Поэтому потери при преобразовании электроэнергии у преобразователя частоты, по меньшей мере, в два раза больше, чем у тиристорного преобразователя. Потери мощности у тиристорного преобразователя составляют от 0.8 до 1.5%, у преобразователя частоты от 2 до 3.5% от номинальной мощности.

Обе системы электропривода потребляют реактивную мощность из сети. В электроприводе переменного тока это значение пренебрежимо мало, а в электроприводе постоянного тока зависит от скорости вращения (ниже номинальной).

Практические значения  $\cos \varphi$  :

- для приводов постоянного тока от 0 до 0,9 при работе в 1-м квадранте и от 0 до 0,85 при работе в 4-м квадранте;

- для электропривода переменного тока 0,99 при работе в 1-м квадранте с использованием неуправляемого диодного выпрямителя и 0,9 при работе в 4-м квадранте с использованием транзисторного управляемого выпрямителя и возвратом энергии в сеть.

С этой точки зрения выгоднее использовать привод переменного тока.

Несмотря на то, что асинхронные двигатели не требуют таких больших капиталовложений, как двигателя постоянного тока, в нашем случае есть ряд требований, при решении которых электропривод постоянного тока имеет явные преимущества, так как:

- двигатели постоянного тока имеют более мягкую механическую характеристику, что дает более короткое время разгона механизма;

- двигатели постоянного тока имеют большую перегрузочную способность;

- аппаратная реализация и математическое описание законов управления электроприводов постоянного тока значительно проще, чем у приводов работающих на переменном токе;

- электрическое торможение у двигателей постоянного тока осуществляется проще и дает результаты лучше, чем у асинхронных двигателей;

- стоимость аппаратуры управления электроприводов переменного тока намного выше аппаратуры постоянного тока.

Несмотря на простоту обслуживания, невысокую стоимость и более высокую надежность электропривода переменного тока, регулируемый электропривод постоянного тока продолжает массово использоваться в промышленности. РЭП постоянного тока представляют собой сложную электромеханическую систему, обеспечивающую регулирование скорости в заданном диапазоне с требуемой точностью и быстродействием. Таким образом, мы пришли к выводу, что в качестве электропривода питателя сырого концентрата целесообразно применить электропривод постоянного тока.

## **2.2 Выбор электродвигателя**

Электропривод питателя сырого концентрата работает в режиме S1, так как длительность цикла превышает 10 минут, что достаточно для теплового равновесия. Нагрузка длительное время остается постоянной.

Определим максимальную статическую мощность

$$P_{с макс} = \frac{9,81 \times Q \times L \times K_1 \times K_2}{h_{ред}} = \frac{9,81 \times 50 \times 3,6 \times 4,1 \times 1,5 \times 10^{-3}}{0,8} = 13,575 \text{ кВт},$$

где 9,81 м/с – ускорение свободного падения;

$Q = 50$  кг/с – производительность питателя;

$L = 3,6$  м – горизонтальная проекция пути;

$K_2 = 4,1$  – коэффициент сопротивления перемещения концентрата в корпусе;

$K_2 = 1,5 \times 10^{-3}$  – коэффициент, учитывающий потери в подшипниках;

$h_{ред} = 0,8$  – КПД редуктора.

Требуемая максимальная скорость приводного двигателя питателя

$$n_{дв макс}^* = 2000 \text{ об/мин}.$$

Момент сопротивления, приведенный к валу двигателя

$$M_{сi} = \frac{P_{сi} \cdot \omega_{дв}^*}{\omega_{дв}^*} = \frac{13575}{209,4} = 64,83 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $\omega_{дв}^* = \frac{\pi \cdot n_{дв}^*}{30} = \frac{3,14 \cdot 2000}{30} = 209,4 \text{ рад/с}.$

Выбираем двигатель постоянного тока с мощностью 16 кВт типа 2ПО180ЛУХЛ4.

Серия 2П машин постоянного тока охватывает высоты осей вращения от 90 до 315 мм и диапазон мощностей от 0.37 до 200 кВт. Номинальные напряжения источников питания якорной цепи 110В, 220В, 440В. Машин этой серии предназначены для работы в широкорегулируемых электроприводах. У машин серии 2П повышена перегрузочная способность, расширены диапазон регулирования частоты вращения, улучшены динамические свойства, уменьшены шум и вибрация, повышена мощность на единицу массы.

Машины серии 2П состоят из якоря, цилиндрической стальной станины с главными и добавочными полюсами и двух плоских подшипниковых щитов.

Электродвигатели выполняются четырёхполюсными с полным числом добавочных полюсов. По способу возбуждения двигатели изготавливаются с независимым (без последовательной обмотки), смешанным и параллельным (без последовательной обмотки) возбуждением.

В машинах защищенного исполнения защитные ленты, закрывающие люки и вентиляционные окна со стороны привода, имеют жалюзи, обеспечивающие необходимую защиту от брызг воды. Для закрытого исполнения машин применяют глухие защитные ленты с дополнительными резиновыми уплотнениями. В машинах серии 2ПО со стороны заднего подшипникового щита установлен электрический вентилятор, обеспечивающий необходимое охлаждение машины.

Режим работы продолжительный ( $S_1$ ). По согласованию с предприятием-изготовителем электродвигатели могут быть использованы для работ в режимах  $s_2 - s_8$ . В машинах применены изоляционные материалы, по нагревостойкости соответствующие классу F ГОСТ 8865-70.

#### Структура условного обозначения

**2 П О 180 L УХЛ4**

**1 2 3 4 5**

1-название серии: вторая серия МПТ;

2-исполнение по способу защиты и вентиляции: О-закрытое с обдувом от постороннего вентилятора;

3-высота оси вращения 180 мм;

4-условное обозначение длины сердечника якоря: L-большая;

5-климатическое исполнение и категория размещения: электрическая

машина предназначена для эксплуатации для климатических районов с умеренным и холодным климатов.

Таблица 1-Справочные параметры электродвигателя 2ПО180ЛУХЛ4

Наименование	Обозначение	Значение величины
Номинальная мощность	$P_{дв н}$	16кВт
Номинальное напряжение	$U_{дв н}$	440В
Номинальная частота вращения	$n_{дв н}$	2120об/мин
КПД	$h_{дв}$	89.5%
Сопротивление обмотки якоря	$R_{оя}$	0,168 Ом
Сопротивление обмотки добавочных полюсов	$R_{дп}$	0,11 Ом
Индуктивность цепи якоря	$L_{дв}$	6,6 мГн
Момент инерции	$J_{дв}$	0,23кг м <sup>2</sup>
Номинальный ток якоря	$I_{дв н}$	40А
Номинальный ток возбуждения	$I_{в н}$	1,6А

Двигатель постоянного тока с мощностью 16 кВт типа 2ПО180ЛУХЛ4 представлен на рисунке 11.



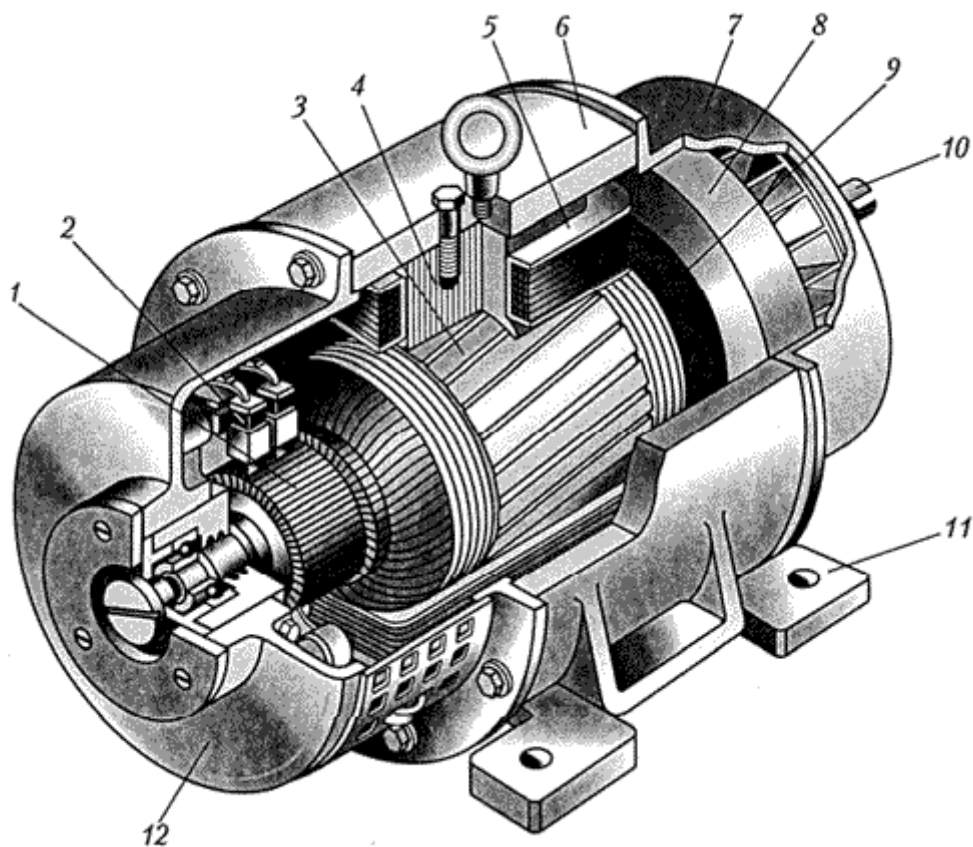


Рисунок 11-Машина постоянного тока 2ПО180LYXD4

1-лабиринт; 2-щит подшипниковый; 3-лента защитная; 4-катушка обмотки возбуждения; 5-станина; 6-якорь; 7- лента защитная; 8- траверса; 9- щит подшипниковый; 10- крышка подшипника; 11- электровентильатор.

Рассчитаем параметры электродвигателя.

Номинальная угловая скорость вращения

$$\omega_{\text{двн}} = \frac{p}{30} \times n_{\text{двн}} = \frac{p}{30} \times 2120 = 222 \text{ рад/с.}$$

Сопротивление цепи якоря горячее

$$R_{\text{двгор}} = 1.24 \times (R_{\text{оя}} + R_{\text{дп}}) = 1.24 \times (0.168 + 0.11) = 0.345 \text{ Ом.}$$

Коэффициент ЭДС  $\frac{\text{В} \times \text{с}}{\text{рад}}$  и электромагнитного момента  $\frac{\text{Н} \times \text{м}}{\text{А}}$

$$c = \frac{U_{\text{двн}} - I_{\text{двн}} \times R_{\text{дв}}}{\omega_{\text{двн}}} = \frac{440 - 40 \times 0.345}{222} = 1.92.$$

Электромагнитная постоянная времени двигателя

$$T_{\text{дв}} = \frac{L_{\text{дв}}}{R_{\text{дв}}} = \frac{0.0066}{0.345} = 0.0191 \text{ с.}$$

Максимальный ток двигателя

$$I_{\text{дв макс}} = 3 \times I_{\text{дв н}} = 3 \times 40 = 120 \text{ А.}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв н}} = \frac{P_{\text{дв н}}}{\omega_{\text{дв н}}} = \frac{16000}{222} = 72 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

### 2.3 Выбор преобразователя

Выбор комплектного электропривода производим на основании данных выбранного электродвигателя:

- номинальное напряжение  $U_{\text{дв н}} = 440 \text{ В}$ ;
- номинальный ток  $I_{\text{дв н}} = 40 \text{ А}$ .

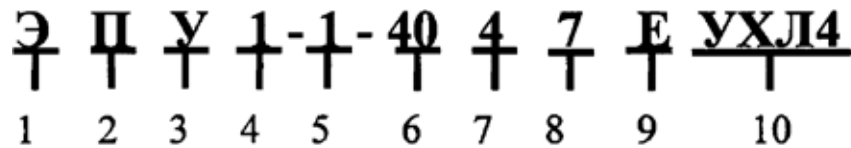
Условиями выбора преобразователя являются:

$$U_{\text{дн}} \geq U_{\text{дв н}}; \quad I_{\text{дн}} \geq I_{\text{дв н}}; \quad I_{\text{д макс}} \geq I_{\text{дв макс.}}$$

Выбираем комплектный электропривод постоянного тока ЭПУ 1-1-40 47 Е УХЛ4 с параметрами:

- номинальное напряжение блока управления  $U_{\text{дн}} = 460 \text{ В}$ ;
- номинальный ток блока управления  $I_{\text{дн}} = 100 \text{ А}$ ;
- максимальный ток преобразователя  $I_{\text{д макс}} = 2 \times I_{\text{дн}} = 2 \times 100 = 200 \text{ А}$ .

### Структура условного обозначения



1-электропривод;

2-постоянного тока;

3-унифицированный;

4-номер разработки;

5-нереверсивный;

6-ток блока управления 40-100А;

7-выпрямленное напряжение блока управления 4-460В;

8-напряжение трехфазной питающей сети 7-380В, 50Гц;

9-обратная связь по ЭДС, однозонный, перегрузка по току до 2, диапазон регулирования до 20;

10-климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Определим параметры тиристорного преобразователя.

Среднее значение ЭДС преобразователя при угле управления  $\alpha = 0^\circ$

$$E_{d0} = k_{сх} \times U_{2л} = 1.35 \times 380 = 513 \text{ В},$$

где  $k_{сх} = 1.35$  – коэффициент схемы выпрямления для трехфазной мостовой схемы,

$U_{2л} = 380 \text{ В}$  – действующее значение линейного напряжения.

Максимальное значение ЭДС преобразователя

$$E_{тп\max} = E_{d0} \times \cos \alpha_{\min} = 513 \times \cos 10^\circ = 505 \text{ В},$$

где  $\alpha_{\min} = 10^\circ$  – минимальный угол управления.

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного преобразователя

$$k_{\text{ТП макс}} = \frac{\rho \times k_{y0} \times E_{d0}}{2 \times U_{\text{оп макс}}} = \frac{3.14 \times 1 \times 513}{10} = 161.16,$$

где  $k_{y0} = 1$  – коэффициент управляющего органа на входе СИФУ;

$2 \times U_{\text{оп макс}} = 10$  В – размах опорного напряжения.

Электромагнитная постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{ТП}} = \frac{0.5}{m_B \times f_c} = \frac{0.5}{6 \times 50} = 0.00167 \text{ с},$$

где  $m_B = 6$  – число фаз преобразователя;

$f_c = 50$  Гц – частота питающей сети.

## 2.4 Выбор токоограничивающего реактора

Токоограничивающие реакторы включают в цепь переменного тока при подключении тиристорного преобразователя к промышленной сети или общей сети питания тиристорного преобразователя. Необходимое значение полного сопротивления обмотки фазы реактора

$$Z_{\text{ф расч}} = \frac{U_{\text{кз}} \% \times U_{\text{сф}}}{100 \times I_{\text{ф расч}}} = \frac{5.5 \times 220}{100 \times 35.86} = 0.335 \text{ Ом},$$

где  $U_{\text{кз}}$  – напряжение короткого замыкания реактора, принимаем  $U_{\text{кз}} = 5,5 \%$ ;

$U_{\text{сф}} = 220$  В – фазное напряжение питающей сети;

$I_{\text{ф расч}} = k_{i2\phi} \times k_i \times I_{\text{двн}} = 0.815 \times 1.1 \times 40 = 35.86$  А;

$k_{i2\phi} = 0.815$  - коэффициент, зависящий от схемы выпрямления;

$k_i = 1.1$  - коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от синусоидальной;

Предварительно пренебрегаем активным сопротивлением обмоток реактора, тогда  $X_{\text{ф расч}} = Z_{\text{ф}}$  и необходимое значение индуктивности обмотки фазы реактора

$$L_{\text{фрасч}} = \frac{X_{\text{фрасч}}}{\omega_c} = \frac{0.335}{314} = 0.001 \text{ Гн.}$$

Выбираем трехфазный токоограничивающий реактор РТСТ-41-1.01 93 с параметрами:

$$U_p = 410 \text{ В.}; I_p = 41 \text{ А};$$

$$R_{\text{рф}} = 0.102 \times 10^{-3} \text{ Ом}; L_{\text{рф}} = 1.01 \times 10^{-3} \text{ Гн}$$

Индуктивное сопротивление обмотки фазы реактора

$$X_{\text{фрасч}} = \omega_c \times L_p = 314 \times 1.01 \times 10^{-3} = 31.7 \times 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Сопротивление, учитывающее коммутацию вентиляей

$$R_k = \frac{m_b \times X_{\text{фрасч}}}{2 \times \varphi} = \frac{6 \times 31.7 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14} = 0,0303 \text{ Ом.}$$

## 2.5 Выбор сглаживающего реактора

При питании от ТП по двигателю помимо постоянной составляющей протекают переменные составляющие, величина которых зависит от угла управления и параметров нагрузки. Это приводит к повышению нагрева двигателя, ухудшению условий коммутации, снижению жесткости механических характеристик в связи с расширением зоны прерывистого тока.

Включение сглаживающего дросселя в якорную цепь позволяет ограничивать величину переменных составляющих и, тем самым, улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики, однако вызывает увеличение габаритов, веса привода и его стоимости, а также ухудшение динамических свойств.

Индуктивность сглаживающего реактора выбирается из условий ограничения зоны прерывистого тока в нереверсивном преобразователе до уровня минимального значения тока нагрузки или тока холостого хода двигателя и ограничения пульсаций тока двигателя до допустимых значений.

Определим необходимую величину индуктивности дросселя из условия

ограничений зоны прерывистых токов.

Наибольшая ширина зоны прерывистых токов при раздельном управлении имеет место при угле управления  $\alpha = 90^\circ$ , тогда минимальное значение индуктивности цепи управления тока (тока нагрузки) для получения гранично-непрерывного режима определяется выражением

$$L_{кн1} = \frac{1}{\omega_c} \times k_{гр.макс} \times \frac{E_{d0}}{I_{дгр}} = \frac{1}{314} \times 0.093 \times \frac{513}{6} = 0.025 \text{ Гн},$$

где  $k_{гр.макс} = \frac{\alpha}{\pi} - \frac{\rho}{m_B} \times \text{ctg} \frac{\rho}{m_B} \times \frac{\pi}{\alpha} \times \sin 90^\circ = 0.093$ ;

$I_{дгр} = (0.1, 0.15) \times I_{двн} = 0.15 \times 40 = 6 \text{ А}$  – значение начально-граничного тока.

Требуемая индуктивность добавочного дросселя

$$L_{др1} = L_{кн1} - L_{тп} - L_{дв} = 0.025 - 0.00202 - 0.0066 = 16.38 \times 10^{-3} \text{ Гн},$$

где  $L_{тп} = 2 \times L_p = 2 \times 0.00101 = 0.00202 \text{ Гн}$  – индуктивность цепи преобразователя.

Определим необходимую величину индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения пульсаций выпрямленного тока.

Пульсации выпрямленного напряжения приводит к пульсациям выпрямленного тока, которые ухудшают коммутацию двигателя и увеличивают его нагрев. Кривая выпрямленного напряжения содержит две составляющие: постоянную, равную среднему значению выпрямленного напряжения  $E_d = E_{d0} \times \cos \alpha$ , и переменную составляющую, состоящую из спектра гармоник.

Ограничиваемая с учетом влияния первой гармоники необходимая величина индуктивности цепи выпрямленного тока

$$L_{кн2} = \frac{E_{d(1)макс} \times 100}{m_B \times \omega_c \times p(1)\% \times I_{двн}} = \frac{124.4 \times 100}{6 \times 314 \times 40} = 0.01655 \text{ Гн},$$

где  $E_{d(1)\text{макс}} = \frac{E_{d0}}{\sqrt{2}} \times \frac{2 \times}{(m_B^2 - 1)} = \frac{513}{\sqrt{2}} \times \frac{2 \times 6}{(6^2 - 1)} = 124.4 \text{ В}$  – действующее значение

первой гармоники пульсирующего выпрямленного напряжения при угле управления  $\alpha = 90^\circ$ .

$p(1)\%$  – допустимое значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах, принимаем  $p(1)\% = 10$ .

Определяем необходимую индуктивность добавочного дросселя

$$L_{\text{др2}} = L_{\text{кн2}} - L_{\text{тп}} - L_{\text{дв}} = 0.01655 - 0.00202 - 0.0066 = 7.93 \times 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Выбираем реактор типа РТП-3 со следующими параметрами:

$$R_{\text{др}} = 0.04 \text{ Ом}; L_{\text{др}} = 6.8 \times 10^{-3} \text{ Гн.}$$

## 2.6 Расчетные параметры якорной цепи

Силовая цепь электропривода состоит из электродвигателя, токоограничивающего реактора, сглаживающего дросселя и тиристорного преобразователя.

Сопротивление якорной цепи

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{тп}} + R_{\text{двгор}} + R_{\text{др}} + 0.1 \times R_{\text{двгор}} = 0.374 + 0.345 + 0.04 + 0.1 \times 0.345 = 0.793 \text{ Ом,}$$

где  $R_{\text{тп}} = 2 \times R_{\text{рф}} + R_{\text{к}} = 2 \times 0.063 + 0.303 = 0.374 \text{ Ом}$  – сопротивление силовой цепи преобразователя.

Индуктивность якорной цепи

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + L_{\text{тп}} + L_{\text{др}} = 0.0066 + 0.00202 + 0.0068 = 0.01542 \text{ Ом,}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = \frac{0.01542}{0.793} = 0.0194 \text{ с.}$$

Максимальное значение граничного тока зоны прерывистых токов для якорной цепи

$$I_{dгрмакс} = \frac{1}{w_c} \times k_{грмакс} \times \frac{E_{d0}}{L_{яц}} = \frac{1}{314} \times 0.093 \times \frac{513}{0.01542} = 9.85 \text{ А.}$$

В относительных единицах

$$\frac{I_{dгрмакс}}{I_{двн}} = \frac{9.87}{40} = 0,242.$$

Максимальная величина пульсаций тока двигателя при угле управления  $a = 90^0$  и номинальном токе нагрузки

$$P(1)\% = \frac{E_{d(1)макс} \times 100}{m_B \times w_c \times I_{двн} \times L_{яц}} = \frac{124,4 \times 100}{6 \times 314 \times 40 \times 0.01542} = 10.7\% .$$

Полученные результаты можно считать удовлетворительными.

Электромеханическая постоянная времени привода

$$T_M = \frac{J_{\text{э}} \times R_{яц}}{c^2} = \frac{0.278 \times 0.793}{1.92^2} = 0.06 \text{ с,}$$

где  $J_{\text{э}} = J_{дв} + k \times J_{дв} + J_{ш.пр} = 0.23 + 0.2 \times 0.23 + 0.0182 = 0.278 \text{ кг} \times \text{м}^2$  —

эквивалентный момент инерции электропривода;

$k = 0.2$  — коэффициент, учитывающий момент инерции соединительной муфты и первой шестерни редуктора.

Отношение

$$\frac{T_M}{T_{яц}} = \frac{0.06}{0.0194} = 3.09.$$

## 2.7 Проверка области существования электромеханических характеристик электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода (замкнутой системы), ограниченная значением  $w = w_{\text{эп макс}}$  и зависимостью  $\pm I_{\text{доп}}(w)$ , должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой системы преобразователь-



двигатель. Последняя, в свою очередь, ограничена предельными характеристиками, соответствующими работе проводящей группы вентилей в режиме предельного инвертирования, а в выпрямительном режиме – работе при минимальном угле управления. Поскольку проектируемый электропривод не реверсивный, то характеристика в режиме предельного инвертирования не рассчитывается. Выполнение вышеупомянутого условия требует значительного запаса по напряжению и мощности преобразователя. Такой подход может быть рекомендован при проектировании электроприводов, от которых требуется реализация предельных динамических возможностей двигателей, что не является целью проектирования данного привода.

Должно выполняться следующее условие: при пониженном напряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления  $\alpha_{\text{мин}}$  электромеханическая характеристика разомкнутой системы должна быть расположена выше точки с координатами  $w = w_{\text{ЭП макс}}, I = I_{\text{дв н}}$ .

Значение минимального угла управления преобразователя  $\alpha_{\text{мин}}$  в выпрямительном режиме при пониженном напряжении сети

$$\alpha_{\text{мин}} = \arccos \frac{c \times w_{\text{ЭП макс}} + I_{\text{дв н}} \times R_{\text{яц}}}{k_{\text{ис}} \times E_{\text{д0}}} = \arccos \frac{1.92 \times 209.4 + 40 \times 0.793}{0.85 \times 513} = \arccos(1.05).$$

Принимаем  $\alpha_{\text{мин}} = 10^{\circ}$ .

Максимальный угол управления из условия безопасного инвертирования

$$\alpha_{\text{макс}} = \arccos \frac{\frac{\omega}{\omega_0} \times R_{\text{тп}} \times I_{\text{дв макс}}}{k_{\text{ис}} \times E_{\text{д0}}} - \cos d \frac{\ddot{\omega}}{\ddot{\omega}_0} = \arccos \frac{\frac{\omega}{\omega_0} \times 0.374 \times 120}{0.85 \times 513} - \cos 6^{\circ} \frac{\ddot{\omega}}{\ddot{\omega}_0} = 142^{\circ}.$$

Рассчитаем и построим характеристики привода при полном и пониженном напряжении сети и предельных углах управления преобразователем. Расчетное выражение имеет вид

$$w(I) = \frac{1}{c} (k_{\text{ис}} \times E_{\text{д0}} \times \cos \alpha_{\text{мин}} - I \times R_{\text{яц}}) = \frac{1}{1.92} (0.85 \times 513 \times \cos 10^{\circ} - 0.793 \times I).$$

Результаты расчетов сведены при  $k_{\text{ис}} = 1$  сведены в таблицу 2, при

$k_{uc} = 0.85$  – в таблицу 3.

Таблица 2-Результаты расчета электромеханической характеристики при  $k_{uc} = 1$

$\omega$ , рад/с	263	246,63	213
$I$ , А	0	40	120

Таблица 3-Результаты расчета электромеханической характеристики при  $k_{uc} = 0.85$

$\omega$ , рад/с	223,68	207,16	176,11
$I$ , А	0	40	120

Графики рассчитаны и построены с помощью программы MathCAD и представлены на рисунке 12.

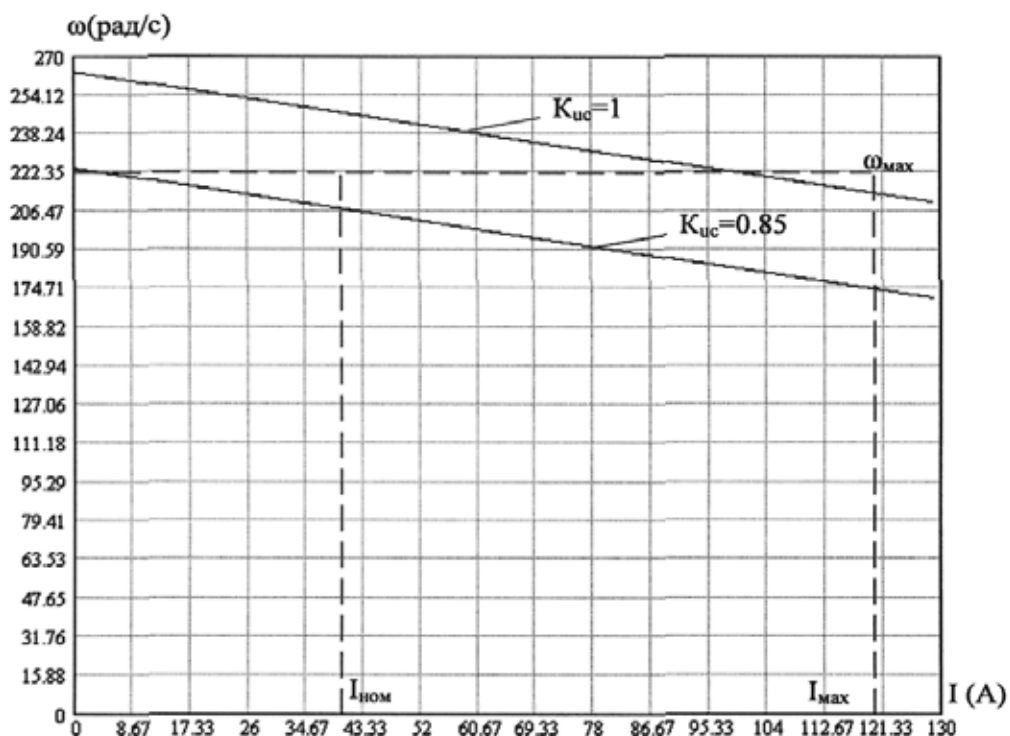


Рисунок 12-Электромеханические характеристики

Анализ электромеханических характеристик показывает, что привод с непосредственным подключением к сети обеспечивает заданную максимальную скорость  $\omega = \omega_{эп\max}$  при полном напряжении сети.

## 2.8 Электромеханические характеристики системы преобразователь-двигатель

В области малых нагрузок электромеханические характеристики существенно нелинейные с изменяющейся жёсткостью. С уменьшением нагрузки имеет место резкий подъём скорости из-за явлений, связанных с прерывистым характером тока якоря. В режиме прерывистого тока в преобразователе тиристор прекращает проводить ток до момента отпирания тиристора следующей фазы. Скорость двигателя в установившемся режиме определяется величиной среднего значения выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя и падением напряжения в цепи, образованной тиристором, обмоткой якоря и дросселями.

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$w = \frac{E_d - I_d \times R_{яц} - DU_{\epsilon}}{c},$$

где:  $E_d = E_{d0} \times \cos(\alpha)$  – среднее значение выпрямленной ЭДС в режиме непрерывного тока;

$\alpha$  – угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

$DU_{\epsilon}$  – прямое падение напряжение на тиристоре.

Для получения соответствующей скорости вращения вала двигателя произведем ряд преобразований и получим выражение для нахождения угла управления в функции скорости:

$$\alpha(w) = \arccos \frac{c \times w + I_d \times R_{яц} + DU_{\epsilon}}{E_{d0}}$$

Для построение электромеханических характеристик в зоне непрерывного тока воспользуемся итоговым выражением:

$$w(I) = \frac{E_{d0} \times \cos(\alpha(w)) - I \times R_{яц} - DU_{\epsilon}}{c}$$

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол  $\alpha$ . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрямленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к прерывистому соответствует режим начально-непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла  $\alpha$  и параметров схемы.

Проведем расчет и построение характеристик в зоне прерывистых токов. Для этого найдем угол открывания, измеренный от начала положительной полуволны синусоиды фазной ЭДС:

$$q_0(\alpha) = \frac{180}{\rho} \times \frac{\alpha}{\epsilon} \cos(\alpha(w)) + \frac{\alpha \rho}{\epsilon^2} + \frac{\rho}{m_{\epsilon}} \frac{\ddot{\alpha}}{\omega^2}$$

Значение ЭДС в относительных единицах в зависимости от угла управления  $\alpha$  в зоне прерывистых токов:

$$e(a) = \cos \frac{\alpha}{\epsilon} q \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing} \times$$

$$\frac{\sin \frac{\alpha}{\epsilon} (q_0(a) - q) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing} - \sin \frac{\alpha}{\epsilon} (q_0(a) + l - q) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing} \times e^{l \times \frac{\rho}{180} \times \cot \frac{\alpha}{\epsilon} q \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing}}}{1 - e^{l \times \frac{\rho}{180} \times \cot \frac{\alpha}{\epsilon} q \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing}}}$$

где угол  $l = \frac{2 \times 180}{m_\epsilon} = 60$  град – угол проводимости тиристоров;

угол  $\theta$  – угол отставания тока в якоре от напряжения. Он обусловлен присутствием в цепи якоря индуктивности  $L_{яц}$ . Угол  $\theta$  найдем по выражению:

$$q = \arctan \frac{\alpha \omega_0 \times L_{яц}}{\epsilon R_{яц}} \times \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing} \times \frac{180}{\rho}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(a) = \frac{m_\epsilon}{2 \times \rho \epsilon} \cos \frac{\alpha}{\epsilon} q_0(a) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing} - \cos \frac{\alpha}{\epsilon} (l + q_0(a)) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing} - l \times \frac{\rho}{180} \times e_{zp}(a) \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing},$$

Характеристики режима прерывистого тока можно построить в абсолютных единицах  $w = f(I)$  по следующим выражениям:

$$w(a) = e(a) \frac{\sqrt{2} \times U_n \times \cos \frac{\alpha}{\epsilon} q_0(a) \times \frac{\rho}{180} - \frac{\rho}{2} \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing} \times DU_\epsilon}{c},$$

$$I(a) = i(a) \frac{\sqrt{2} \times U_n \times \cos \frac{\alpha}{\epsilon} q_0(a) \times \frac{\rho}{180} - \frac{\rho}{2} \frac{\ddot{\theta}}{\varnothing}}{R_{яц}}.$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристоров  $\alpha$  (в диапазоне  $0 \dots 180$ ) и угол проводимости  $\lambda$  ( $0 \dots 60$ ), то получим семейство

электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 13:

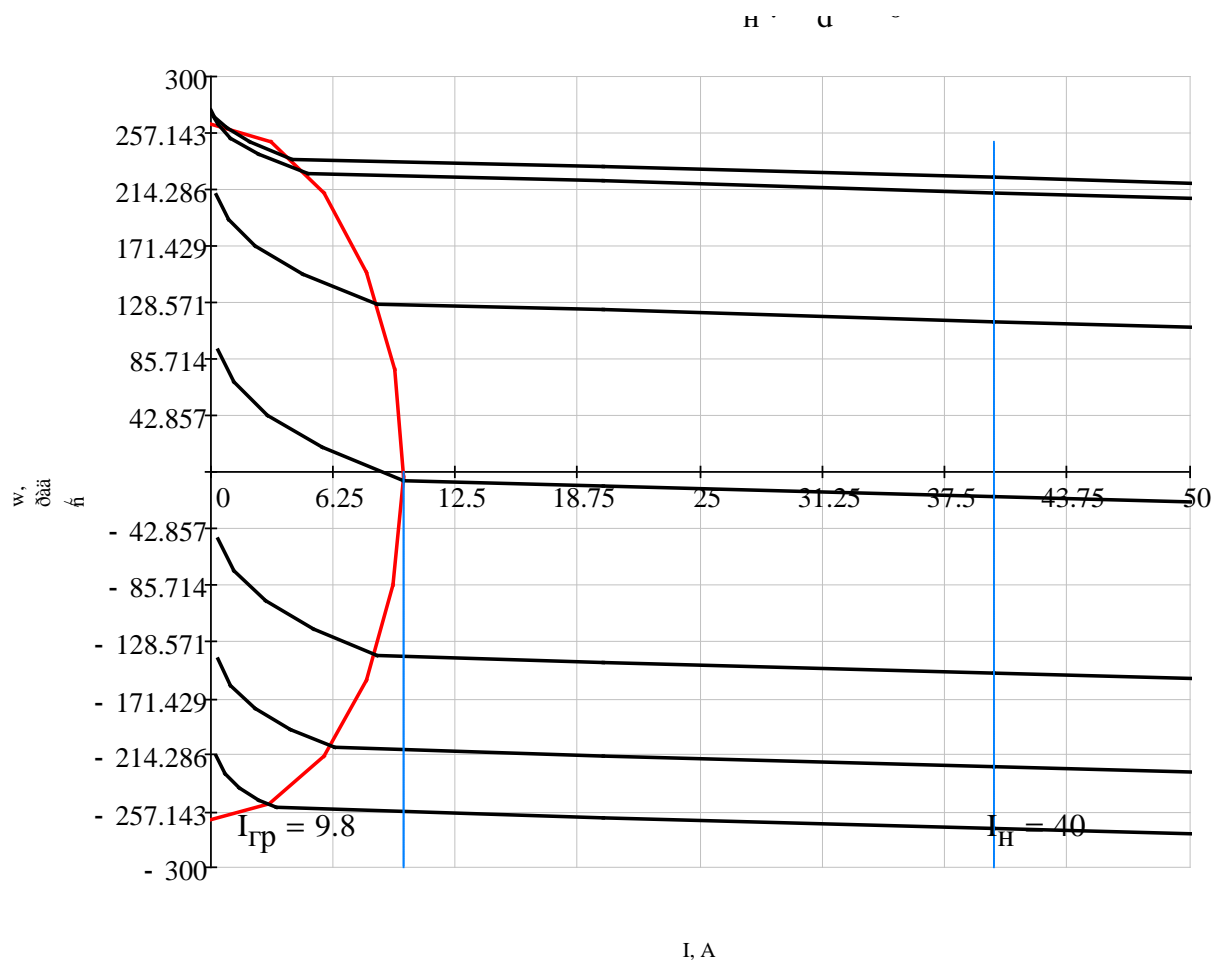


Рисунок 13 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с  
раздельным управлением

Для получения граничной характеристики можно воспользоваться выражениями для скорости и тока в зоне прерывистого тока, задавая угол  $\lambda = 60$  град и меняя угол управления  $\alpha$ .

Как видно из графиков рисунка 13 отношение  $\frac{I_{дгрmax}}{I_{дн}} = \frac{9,8}{40} = 0,245$ , что

является приемлемым.

## 2.9 Структурная схема силового канала электропривода

Структурная схема силового канала приведена на рисунке 14.

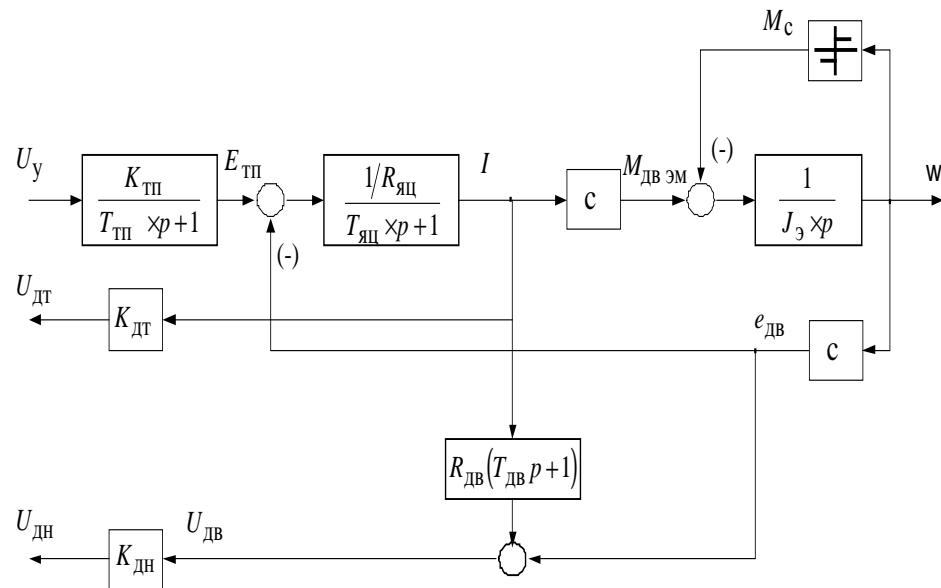


Рисунок 14-Структурная схема силового канала тиристорного электропривода

Параметры элементов силового канала сведены в таблицу 5.

$K_{дт} = 0.06$  В/А - коэффициент передачи датчика тока (паспортные данные электропривода);

$$K_{дн} = \frac{U_{дн.мах}}{U_{дв.мах}} = \frac{10}{500} = 0,02 \text{ -коэффициент передачи датчика напряжения}$$

где  $U_{дн.мах} = 10$ В – максимальное выходное напряжение датчика напряжения,

$U_{дв.мах} = 500$ В –максимальное напряжение на двигателе.

Таблица 2 - Параметры структурной схемы силового канала электропривода

$K_{ТП}$	$T_{ТП}, с$	$R_{яц}, Ом$	$L_{яц}, Гн$	$T_{яц}, с$	$R_{дв гор}, Ом$
161.16	0.00167	0.793	0.01542	0.0194	0.345
$L_{дв}, Гн$	$T_{дв}, с$	$C$	$J_э, кг \times м^2$	$K_{дт}, В/А$	$K_{дн}$
0.0066	0.0191	1.92	0.278	0.06	0.02

### **3 Синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода**

#### **3.1 Функциональная схема электропривода**

Электропривод представляет собой электромеханическое устройство, служащее для регулирования и стабилизации скорости вращения электродвигателя постоянного тока в диапазоне до 20 с обратной связью по ЭДС электродвигателя. Для электропривода принята структура с ПИ-регулятором скорости, адаптивным устройством для линеаризации характеристик электропривода и обратной связью по току на вход управляющего органа СИФУ. Функциональная схема электропривода приведена на рисунке 17. Принципиальные схемы электропривода представлены в приложении В.

##### **3.1.1 Силовая схема якорной цепи**

Силовая схема якорной цепи электропривода состоит из полностью управляемого выпрямителя, выполненного по трехфазной мостовой схеме. Выпрямитель выполнен на модульных тиристорах VI-V3, для повышения надежности включены защитные RC цепи. К силовой схеме относятся также коммутационные реакторы, аппаратура защиты, при необходимости в цепь якоря электродвигателя включается сглаживающий дроссель. Силовой преобразователь возбуждения собран по однофазной мостовой схеме, в одну диагональ которой включен модульный тиристор V4. В силовой схеме блока управления в зависимости от применяемого электродвигателя допускаете использовать модули на ток 63 А, 10-12 класса.

##### **3.1.2 Система импульсно-фазового управления якорной цепи**

Система импульсно-фазового управления якорной цепи (СИФУЯ) предназначена для преобразования постоянного управляющего напряжения в последовательность управляющих импульсов соответствующей фазы, подаваемых на управляющие электроды тиристоров силовых вентильных комплектов.



Формирователь импульсов (ФИ) состоит из следующих узлов: фильтра (Ф) на элементах R1, R2, C1, двух пороговых элементов (ПЭ) VT1, VT2, VT3, VT4, формирователя синхронизирующих импульсов (ФСИ)-DD1, генератора пилообразного напряжения (ГПН)-VT5, C2, DA1, нуля-органа (НО) DA2, формирователя длительности импульсов (ФДИ)-C3, VT6. Схема работает следующим образом. Синхронизирующее фазное напряжение, поступающее от источника синусоидальных напряжений (ИСН), сдвигается по фазе фильтром Ф на угол  $30^\circ$ . С выхода фильтра синусоидальное напряжение поступает на пороговые элементы ПЭ1, ПЭ2, где преобразуется в прямоугольные импульсы. Длительность указанных импульсов определяет зону разрешения выдачи управляющих импульсов для соответствующих тиристоров и составляет для каждой фазы примерно  $176^\circ$ , что исключает одновременную выдачу управляющих импульсов в двух противофазных вентилях выпрямительного моста.

На выходе ФСИ формируется синхроимпульс (сигнал логической «1»), которым осуществляется через транзистор VT5 разряд интегрирующей емкости ГПН. С момента исчезновения синхроимпульса напряжение на выходе ГПН начинает линейно нарастать от нуля до 10. Момент превышения уровня напряжения ГПН над управляющим напряжением, поступающим с выхода управляющего органа (УО), фиксируется нуля-органом, который изменяет свое состояние с «1» на «0», формируя прямоугольный меандр, который дифференцируется цепочкой C3, K15. Отрицательный фронт формирует на выходе ФДИ импульс, который в соответствии с сигналами пороговых элементов ПЭ1 и ПЭ2 формирует управляющие импульсы на входах усилителей импульсов (УИ) «а» или УИ «х». Далее усиленный импульс поступает на вводное устройство (ВУ) силового комплекта. Усилитель импульсов собран по схеме составного транзистора, нагрузкой которого являются вводные устройства. УИ имеет два входа: один для «своего» импульса, другой для «чужого», идущего с другого формирователя импульсов. Это необходимо для получения сдвоенных импульсов, обеспечивающих нормальную работу трехфазной мостовой схемы. Вводное устройство служит для гальванического разделения силовой цепи и цепи управления. Управляющий орган (УО) на микросхеме DA6 служит для

согласования выхода канала регулирования с входами СИФУ и для установки углов  $a_{\min}$ ,  $a_{\max}$ ,  $a_{нач}$ . Начальный угол регулирования ( $a_{нач}$ ) устанавливается  $120^\circ$  переменным резистором R62 при нулевых сигналах на входе УО. Угол  $a_{\min}$  равный  $5-10^\circ$ , устанавливается сменным резистором R73. Угол  $a_{\max}$  равный  $160^\circ$ , устанавливается резистором R70.

### 3.1.3 Система импульсно-фазового управления цепи возбуждения

Система импульсно-фазового управления цепи возбуждения (СИФУВ) предназначена для преобразования постоянного управляющего напряжения в последовательность управляющих импульсов, подаваемых на управляющие электроды тиристора возбуждения. Синхронизирующее фазное напряжение, поступающее от источника синусоидального напряжения, сдвигается по фазе фильтром R41-C4 на  $30^\circ$ . С выхода фильтра синусоидальное напряжение поступает на пороговый элемент, выполненный на микросхеме DA3, где формируются знакопеременные прямоугольные импульсы, используемые для формирования пилообразного напряжения. Импульс положительной полярности заряжает конденсатор C5, при разряде которого через генератор тока на транзисторе VT13 формируется рабочая зона пилообразного напряжения линейно спадающая от 10 до 0 В. Момент превышения уровня пилообразного напряжения над управляющим напряжением  $U_{гтв}$ , фиксируется нуль-органом на микросхеме DA4. Сформированный прямоугольный меандр дифференцируется цепочкой C7, R52, напряжение которой формирует управляющий сигнал на входе усилителя импульсов, собранного на транзисторе VT19.

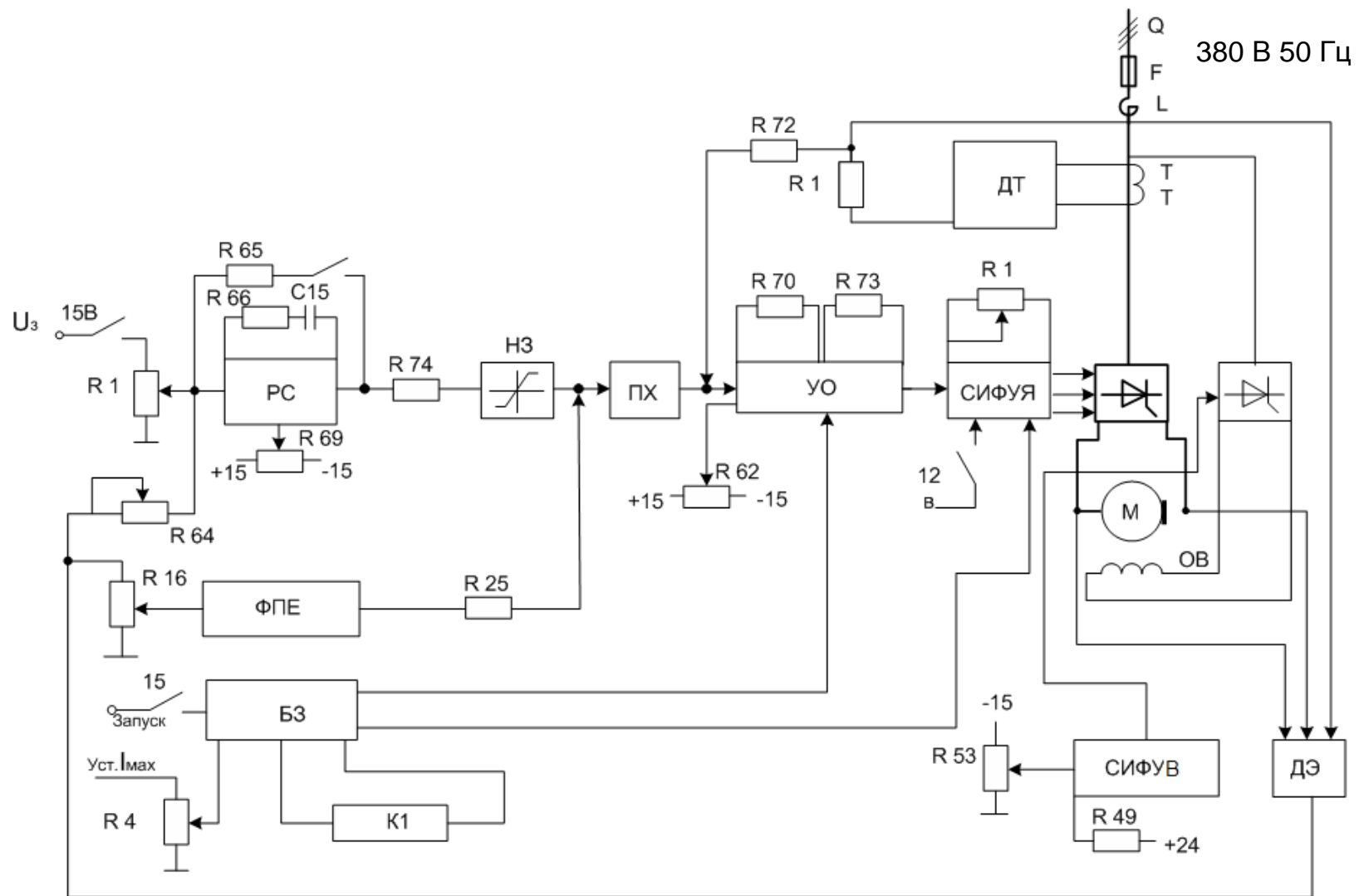


Рисунок 15-Функциональная схема электропривода ЭПУ 1-1-4047Е УХЛ4

### 3.1.4 Датчик напряжения

Схема датчика напряжения изображена на рисунке 16. Датчик напряжения включает в себя генератор, собранный на микросхеме DD1 и развязывающем трансформаторе TV6, ключ на транзисторе VT2 и развязывающем трансформаторе TV3, делитель напряжения R7-R10 и микросхему DA1. Транзистор VT2 с частотой, определяемой генератором, шунтирует резистор R12, с которого снимается сигнал, пропорциональный напряжению якоря электродвигателя. Переменная составляющая этого сигнала подается через конденсатор C10 на первичную обмотку разделительного трансформатора TV3. С вторичной обмотки этого трансформатора выпрямленный диодом VD10 сигнал подается через резистор R21 на вход микросхемы DA1. Для улучшения статических характеристик электропривода предусмотрена положительная связь по току якоря, снимаемая с резистора R18. Предусмотрена автоматическая регулировка величины положительной обратной связи в зависимости от скорости вращения двигателя. На вход транзистора VT1 подается сигнал с DA1, величина которого пропорциональна скорости вращения двигателя. При определенном значении этого сигнала транзистор начинает открываться и изменяет коэффициент передачи положительной обратной связи. Выходное напряжение микросхемы DA1 используется как сигнал обратной связи по скорости двигателя.

### 3.1.5 Регулятор скорости

Регулятор скорости (РС) выполнен на операционном усилителе DA9 с малым температурным дрейфом. На входе РС суммируются сигналы задания скорости и обратной связи  $U_{дн}$ , через резисторы R62 и R64. Глубина отрицательной обратной связи регулируется переменным резистором R64, установка нулевой частоты вращения обеспечивается подачей смещения с помощью переменного резистора R69. Элементы коррекции R66, C15, C16 в цепи обратной связи позволяют осуществлять их подбор в процессе наладки.

### 3.1.6 Адаптивное устройство

Адаптивное устройство (АУ) позволяет линеаризовать характеристики электропривода в режиме прерывистых токов и тем самым улучшить динамические свойства электропривода.

АУ состоит из нелинейного звена (НЗ) и функционального преобразователя ЭДС (ФПЕ). Нелинейное звено имеет характеристику, обратную регулировочной характеристике управляемого выпрямителя в режиме прерывистого тока, и выполнено на операционном усилителе DA10 с нелинейной обратной связью на диодах VD28-VD33. ФПЕ имеет арксинусную характеристику и выполнен на операционном усилителе DA1.

### 3.1.7 Защита, сигнализация и обменные сигналы

В электроприводе предусмотрено 2 варианта защит и обменных сигналов. Вариант 1 содержит все ниже перечисленные защиты. Вариант 2- кроме защит отмеченных знаком\*.

Все виды защит при срабатывании воздействуют на триггер на элементах, кроме защит отмеченных знаком\*, DD2.2 и DD2.3 и через элемент DD2.1 воздействуют на управляющий орган УО, переводя его в положение  $a_{\max}$  и блокируя управляющие импульсы.

Защита при коротких замыканиях осуществляется при помощи силового автомата и устройства, устанавливающего угол регулирования тиристоров в положении  $a_{\max}$ . Устройство выполнено на тиристоре VT2 и триггере, образованном двумя элементами микросхемы DD2.2 и DD2.3. Через резистор R5 на базу VT2 подается запирающее отрицательное напряжение (уставка срабатывания защиты). От датчика тока через резистор R6, на базу VT2 подается положительное напряжение, пропорциональное току якоря. При превышении уставки происходит срабатывание защиты и транзистор VT2 отпирается, воздействуя на триггер DD2.2, DD2.3.

Защита от перегрева двигателя осуществляется интегратором, собранным

на операционном усилителе DA2. Напряжение на выходе DA2 изменяется согласно зависимости:

$$U=f(I-I_{уст})dt,$$

где  $U$ – выходное напряжение;

$I$  – текущее значение тока;

$I_{уст}$  – заданная уставка тока (устанавливаемая резистором K4);

$t$ – время.

С этой защитой совмещена защита от обрыва цепи тока возбуждения.

Схема защиты от понижения напряжения питающей сети срабатывает при снижении напряжения всех или одной фаз более чем на 15% . В состав схемы входят диоды VD9-VD11, резисторы R23 и R24, конденсатор C9 и триггер на элементах DD4.1, DD4.2 . При понижении напряжения на конденсаторе C9 появляется сигнал низкого уровня, который воздействует на триггер DD4.1, DD4.2, сигнал с выхода которого через диод VD5 поступает на общий триггер защиты.

Схема защиты от исчезновения напряжения питающей сети и неправильного чередования фаз состоит из входных делителей R7, R8, R14, R15, фазосдвигающей цепочки C5, R16, микросхем DD3 и DD1.4, разделительных диодов VD3, VD4, накопительного конденсатора C6. Схема работает следующим образом: на элементах микросхемы DD3 и DD1.4 суммируются синусоидальные напряжения фаз А, В и С причем напряжение фазы В с помощью цепочки C5, R16 сдвигается в сторону опережения на 60°, фаза С инвертируется микросхемой DD1.4.

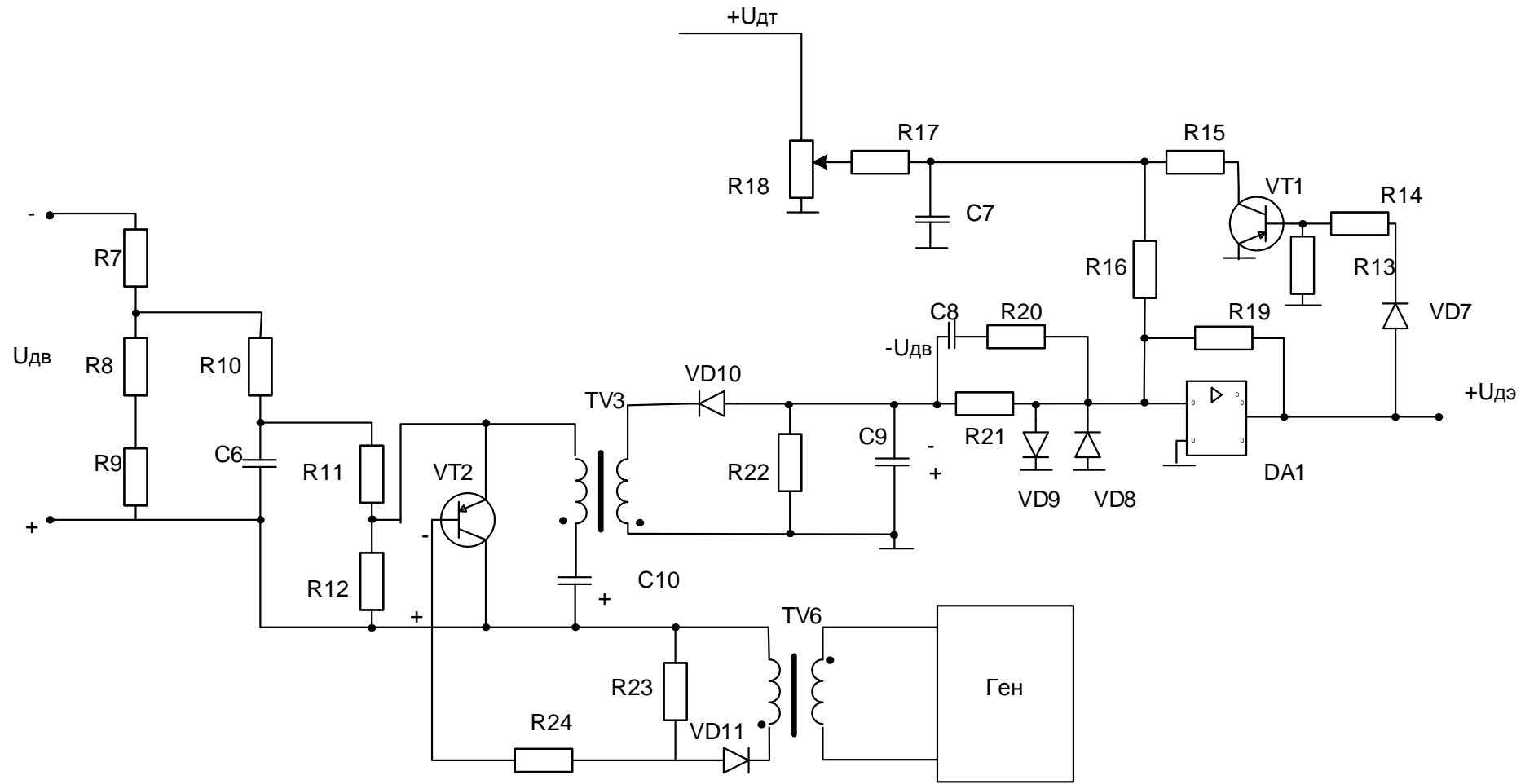


Рисунок 16-Схема датчика ЭДС

При этом на выходе 8 элемента DD3 и выходе 11 элемента DD3 формируются прямоугольные импульсы частотой 50 Гц и длительность 5 мс, которые сглаживаются конденсатором С6 и в виде сигнала, соответствующего логической «1», поступают на входы 12, 13 элемента DD1.4, на выход которого включен светодиодный индикатор VD1H, а также на вход 8 микросхемы DD1, разрешающей прохождение сигнала «Запуск».

При исчезновении одной из фаз или неправильном чередовании фаз питающей сети на выходе 11 DD3 импульсы отсутствуют, конденсатор С6 разряжен, сформирован сигнал «0», выключающий электропривод.

Защита от перегрева преобразователя осуществляется с помощью терморезистора, установленного на радиаторе силовых модулей, порогового элемента на усилителе DA1, триггера на DD2.3 и DD2.4. При перегреве силового блока сопротивление терморезистора падает, пороговый элемент переключает триггер, на выходе 8 микросхемы DD2 устанавливается потенциал логического «0», воздействующий на триггер общей защиты через диод VD2.

Защита от превышения максимальной скорости двигателя воздействует на общий триггер, отключая электропривод при превышении скорости вращения  $(1,1-1,2) n_{ном}$  и состоит из транзисторного ключа VT7, на базу которого подано смещение через R116 и напряжение  $U_{дн}$  через резистор R115 .

Формирование сигнала «Скорость меньше минимальной». Устройство достижения минимальной скорости предназначено для включения реле K1 при достижении минимальной скорости вращения и состоит из интегратора на микросхеме DA19 и транзисторного ключа VT8 регулировка установки срабатывания производится резистором R108. Сигнал с выхода микросхемы DA19 поступает на вход DD1.1, блокирует отключение электропривода до момента достижения минимальной скорости.

Формирование сигнала «Готовность к работе»\*. При нормальном функционировании электропривода сигнал «Готовность к работе» выдается с помощью реле K2, управляемого транзистором VT3, на базу которого подается сигнал с выхода общего триггера на элементах DD2.3, DD2.4.



Формирование сигнала «Сброс защит». Устройство выполнено на микросхемах DD 1.1, DD1.2. При включении электропривода в сеть напряжение на конденсаторе С1 возрастает от нуля по экспоненте, при этом на выходе DD1.2 появляется сигнал логического нуля, приводящий все триггеры защит в исходное состояние. При срабатывании защиты с помощью кнопки "Сброс» триггеры защит переводятся в рабочее положение по цепи R3. С2.

Формирование сигнала «Скорость» равна заданной ( $n = n_{\text{зад}}$ ). Устройство соответствия скорости заданной ( $n = n_{\text{зад}}$ ) отключает реле КЗ в переходных процессах (разгон, торможение) и состоит из усилителя DA11, выпрямителя на микросхеме DA12 и транзисторного ключа VT6.

Узел блокировки регулятора предназначен для исключения ползучей скорости двигателя при снятии сигнала «Запуска». Узел состоит из элементов DD1.1 и DD1.2 транзистора VT1, реле К1, время задающей цепочки на элементах С1, R1, R2. При подаче напряжения +15В на входе «Запуск на выходе 3 микросхемы DD1 появляется сигнал «1». При этом транзистор VT1 открывается и срабатывает реле К1 которое своими контактами расшунтирует регулятор скорости и подает напряжение на вводные устройства СИФУ. При снятии напряжения +15В «Запуск» за счет С1, R1, R2, происходит медленное спадание напряжения на конденсатор С1, что обеспечивает выдержку времени для торможения двигателя.

В схеме электропривода предусмотрено 6 светодиодных индикаторов. Индикатор VD4Н (свечение зеленое) включается при наличии напряжения питания (электропривод включен). Включение остальных индикаторов (свечение красное) сигнализирует о срабатывании защиты (см. таблицу 6).

Таблица 3 - Работа сигнализации

Вид защиты	VD1H	VD2H	VD3H	VD4H	VD6H	VD7H	Примечание
1. Максимально токовая защита и от короткого		X					Знак «X» горящий светодиод
2. Отперегрева двигателя (от токовых		X			X		
3. От понижения напряжения питающей сети		X	X				
4. От исчезновения напряжения питающей сети в силовой цепи или в цепи управления, в	X						
5. От неправильного	X						
6. От перегрева преобразователя		X				X	
7. От превышения максимальной скорости двигателя		X					

### 3.1.8 Блок питания

Блок питания обеспечивает питание всех цепей управления напряжением  $\pm 15$  В, не стабилизированным напряжением  $\pm 24$  В, + 12. Стабилизатор напряжением минус 15В собран по схеме стабилизатор напряжения с последовательно включенным регулирующим транзистором VT2. Усилитель постоянного тока в цепи обратной связи стабилизатора собран на операционном

усилителе DA3. Стабилизатор напряжением  $\pm 15$  В собран на микросхеме DA4.

### 3.2 Структурная схема линеаризованной САУ РЭП

Структурная схема линеаризованной САУ РЭП приведена на рисунке 17.

На схеме обозначено:

$T_{вх,ф}$  - постоянная времени входного фильтра;

РЭ - регулятор ЭДС;

$K_{оэ}$  - коэффициент обратной связи по ЭДС;

$K_{дэ}$  - коэффициент датчика ЭДС;

$K_{пос}$  - коэффициент положительной обратной связи по ЭДС двигателя;

$T_{фн}$  - постоянная времени фильтра в цепи датчика напряжения;

$K_{тп}$  - коэффициент усиления тиристорного преобразователя;

$T_{тп}$  - постоянная времени тиристорного преобразователя;

$K_{от}$  - коэффициент обратной связи по току;

$K_{дт}$  - коэффициент датчика тока;

$C$  - постоянная ЭДС и электромагнитного момента двигателя;

$R_{яц}$  - сопротивление якорной цепи;

$T_{яц}$  - электромагнитная постоянная времени якорной цепи;

$R_{дв}$  - сопротивление электродвигателя;

$T_{дв}$  - электромагнитная постоянная времени двигателя;

$U_{оэ}$  - напряжение обратной связи по ЭДС;

$U_{зс}$  - напряжение задающего сигнала;

$U_{рэ}$  - напряжение с выхода регулятора скорости;

$U_{от}$  - напряжение обратной связи по току;

$e_{тп}$  - ЭДС тиристорного преобразователя;

$e_{дв}$  - ЭДС двигателя;

$i_{я}$  - ток якоря двигателя;

$M$  - момент двигателя;

$M_c$  - статический момент.

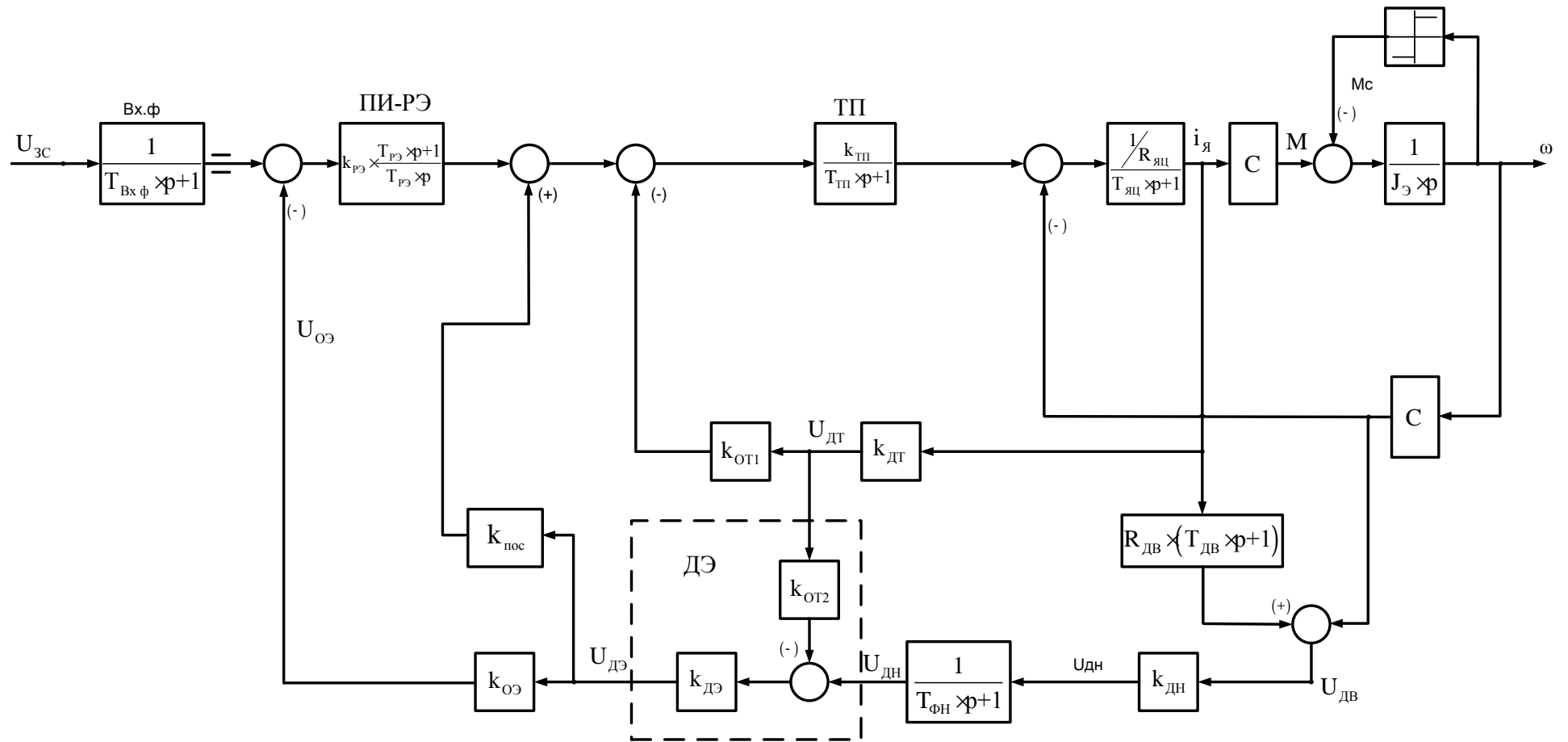


Рисунок 17 – Структурная схема линейризованной САУ РЭП

### 3.3 Оптимизация контура тока

Структурная схема контура тока приведена на рисунке 18.

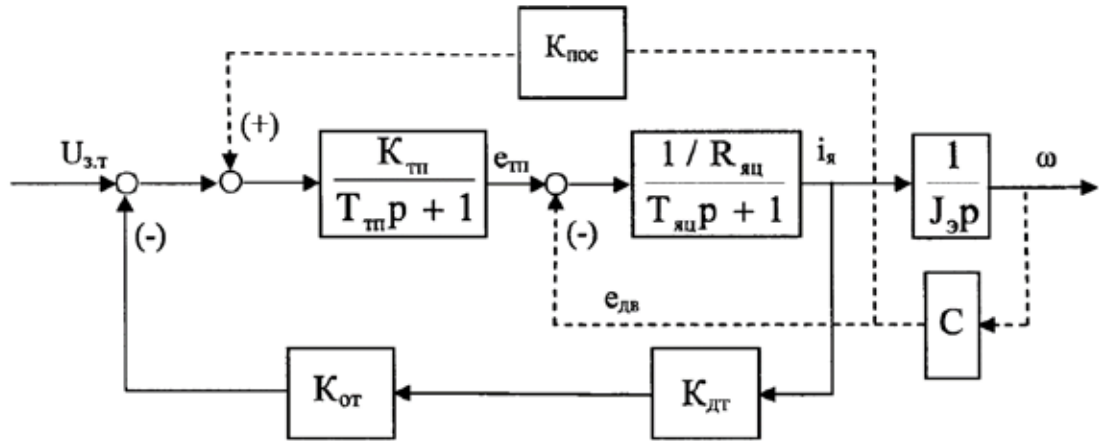


Рисунок 18-Структурная схема контура тока

В электроприводе ЭПУ 1-1-4047Е отсутствует регулятор тока, но обратная связь по току есть. Поэтому можно считать, что регулятор тока пропорциональный с коэффициентом передачи равным 1

$$W_{рт}(p) = K_{рт},$$

где  $K_{рт} = 1$  – коэффициент усиления регулятора тока.

Коэффициент обратной связи по току

$$K_{т} = \frac{R_{яц}}{K_{тп}} \times \frac{\alpha}{e} \times \frac{W_p}{c^*} - 1 \frac{\ddot{\phi}}{\phi} = \frac{0,793}{161,16} \times \frac{\alpha}{e} \times \frac{62,8}{0,436} - 1 \frac{\ddot{\phi}}{\phi} = 0,00883,$$

где  $W_p \approx \frac{c^*}{a_t \times T_{\mu т}} = \frac{0,436}{2 \times 0,00167} = 130,54 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  - резонансная частота замкнутого

контура скорости электропривода, принимаем  $W_p = 62,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  или  $f_p = 10 \text{ Гц}$ ;

$a_t = 2$  - коэффициент оптимизации контура тока;

$c^* = 0,436$  - коэффициент оптимизации настройки контура;

$T_{\mu т} = T_{тп} = 0,00167 \text{ с}$  - малая постоянная времени контура тока.

Коэффициент выходной цепи обратной связи по току

$$K_{от} = \frac{K_T}{K_{дт}} = \frac{0,00883}{0,06} = 0,147,$$

где  $K_{дт} = 0,06$  - коэффициент передачи датчика тока.

Эквивалентная постоянная времени оптимизированного замкнутого контура тока

$$T_T = \frac{C_*}{\omega_p} = \frac{0.436}{62.8} = 0.007 \text{ с.}$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$W_T(p)_{зам} = \frac{\frac{K_{ТП}}{R_{яц}} \times \frac{C_*}{\omega_p}}{(T_T p + 1)} = \frac{1}{(T_T p + 1)},$$

где  $K_{ТЭ} = K_T + \frac{R_{яц}}{K_{ТП}} = 0.00883 + \frac{0.793}{161.16} = 0.01375.$

Для компенсации влияния ЭДС двигателя на процессы в электроприводе в структуру САУ введена положительная обратная связь по ЭДС на вход тиристорного преобразователя с коэффициентом передачи

$$K_{пос} = \frac{1}{K_{ТП} \times K_{дн} \times K_{дэ}} = \frac{1}{161.16 \times 0.02 \times 1} = 0.31.$$

### 3.4 Оптимизация контура ЭДС

При отсутствии высоких требований к точности поддержания скорости электропривода применяется обратная связь по ЭДС. Измерение ЭДС производится путем суммирования сигнала, пропорционального напряжению двигателя, с сигналом токовой компенсации, пропорциональным падению напряжения на активном сопротивлении якоря двигателя. Структурная схема контура ЭДС приведена на рисунке 19.

Наличие апериодического звена в цепи обратной связи, вызывает необходимость установки входного фильтра с постоянной времени  $T_{ФН} = T_{дв} = 0.0191 \text{ с}$ , для исключения повышенного перерегулирования тока при отработке

управляющего воздействия.

Эквивалентная малая постоянная времени контура ЭДС

$$T_{\mu\Omega} = T_{\tau} + T_{дв} = 0.007 + 0.0191 = 0.0261 \text{ с.}$$

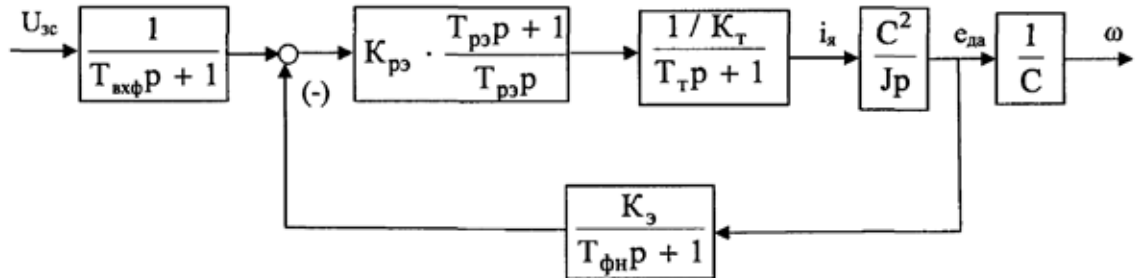


Рисунок 19-Структурная схема контура ЭДС

Контур ЭДС оптимизируем по СО. Выбираем ПИ-РЭ с передаточной функцией

$$W_{рз}(p) = K_{рз} \times \frac{T_{рз}p + 1}{T_{рз} \times p}.$$

Коэффициент усиления регулятора

$$K_{рз} = \frac{J_{\Omega} \times K_{т\Omega}}{C \times K_{\Omega} \times \alpha_{\Omega} \times T_{\mu\Omega}} = \frac{J_{\Omega} \times K_{т\Omega}}{C \times K_{\Omega} \times \alpha_{\Omega} \times (T_{\tau} \times T_{дв})} = \frac{0.278 \times 0.01375}{1.92^2 \times 0.0235 \times 2 \times (0.007 + 0.0191)} = 0.845$$

$$\text{где } K_{\Omega} = K_{\text{о}\Omega} \times K_{дн} \times K_{д\Omega} = \frac{U_{зс \text{ макс}}}{E_{зс \text{ макс}}} = \frac{10}{426} = 0.0235;$$

$U_{зс \text{ макс}} = 10 \text{ В}$  - максимальное значение напряжения задания скорости на входе контура;

$E_{дв \text{ макс}} = C \times \omega_{\text{нп макс}} = 1.92 \times 222 = 426 \text{ В}$  - максимальное значение ЭДС двигателя при максимальной скорости привода;

$\alpha_{\Omega} = 2$  - коэффициент оптимизации по СО.

Постоянная времени регулятора

$$T_{рз} = \alpha_{\Omega} \times \nu_{\Omega} \times T_{\mu\Omega} = 2 \times 2 \times 0.0261 = 0.1044 \text{ с,}$$

где  $\nu_{\Omega} = 2$  - коэффициент оптимизации по СО.

Коэффициент передачи входной цепи РЭ обратной связи по ЭДС

$$K_{оэ} = \frac{K_э}{K_{дн} \times K_{дэ}} = \frac{0.0235}{0.02 \times 1} = 1.17.$$

Коэффициент передачи обратной связи по току

$$K_{от2} = R_{дв гор} \times \frac{K_{дн}}{K_{дт}} = 0.345 \times \frac{0.02}{0.06} = 0.115.$$

Допустимое значение выходного напряжения регулятора ЭДС из условия ограничения тока электропривода (непрерывный ТП)

$$U_{рэ доп} = K_{тэ} \times I_{эп макс} = 0.01375 \times 120 = 1.65 \text{ В.}$$

Допустимое значение выходного напряжения регулятора ЭДС из условия ограничения тока электропривода (дискретный ТП)

$$U_{рэ доп} = \frac{I_{эп} \times R_{яц}}{K_{тп}} = \frac{120 \times 0.793}{161.16} = 0.5 \text{ В.}$$

Постоянная времени входного фильтра

$$T_{вх.ф} = 0.038 \text{ с.}$$

### 3.5 Расчет статических характеристик электропривода

Структурная схема САУ электропривода в статическом режиме имеет вид, представленный на рисунке 20.

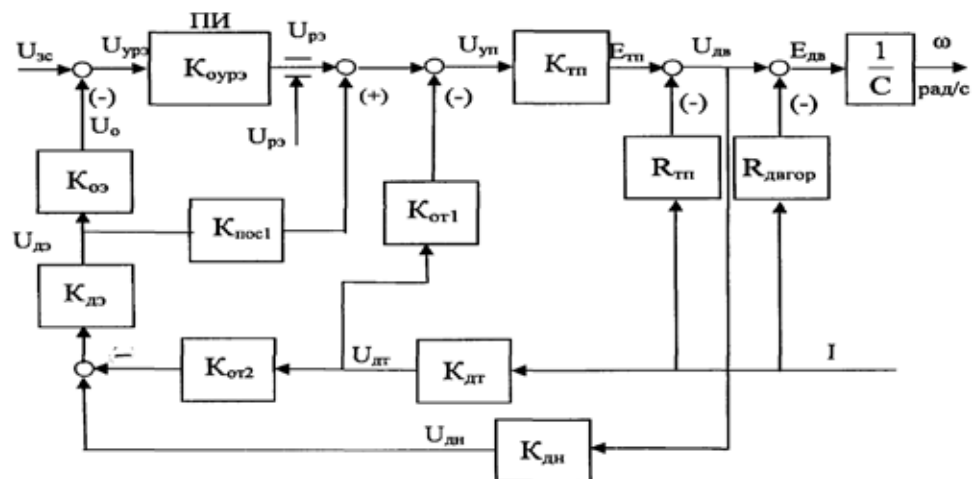


Рисунок 20-Структурная схема САУ электропривода в статическом режиме



Если при настройке контуров выполнены следующие условия:

$$K_{\varepsilon} = K_{\text{оз}} \times K_{\text{дэ}} \times K_{\text{дн}};$$

$$K_{\text{от1}} = R_{\text{дв гор}} \times \frac{K_{\text{дн}}}{K_{\text{дт}}};$$

$$K_{\text{т}} = K_{\text{от1}} \times K_{\text{дт}};$$

$$K_{\text{пос1}} = \frac{1}{K_{\text{дэ}} \times K_{\text{дн}} \times K_{\text{тп}}},$$

то структурная схема рисунка 20 преобразуется к виду, показанному на рисунке 21.

Структурная схема рисунка 21 описывается следующей системой уравнений:

– в режиме стабилизации скорости

$$U_{\text{рэ}} = (U_{\text{зс}} - K_{\varepsilon} \times E_{\text{дв}}) \times K_{\text{оурэ}}. \quad (1)$$

где  $K_{\text{оурэ}}$ -коэффициент усиления операционного усилителя, на котором реализован ПИ-регулятор ЭДС;

– в режиме стабилизации тока (токоограничения)

$$U_{\text{рэ}} = U_{\text{рэ.доп}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{рэ.доп}} = K_{\text{тэ}} \times I_{\text{эп.мах}}$ ;

$K_{\text{тэ}}$  - коэффициент, принятый при настройке токоограничения.

$$U_{\text{уп}} = U_{\text{рэ}} + K_{\text{пос2}} \times E_{\text{дв}} - K_{\text{т}} \times I, \quad (3)$$

где

$$K_{\text{пос2}} = \frac{1}{K_{\text{тп}}}; \quad (4)$$

$$E_{\text{тп}} = U_{\text{уп}} \times K_{\text{тп}}; \quad (5)$$

$$E_{\text{дв}} = E_{\text{тп}} - R_{\text{яц}} \times I; \quad (6)$$

$$W = \frac{E_{\text{дэ}}}{c}.$$

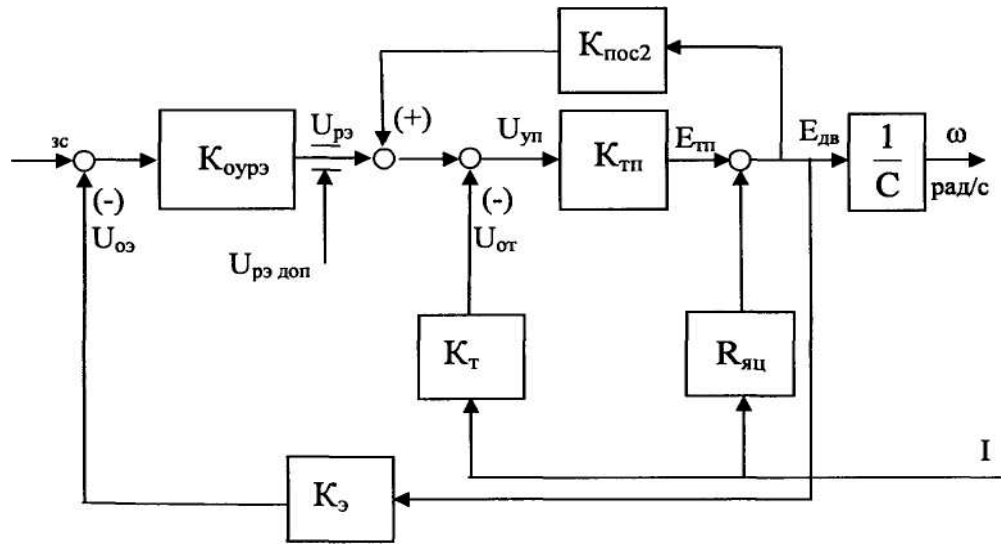


Рисунок 21-Структурная схема САУ электропривода в статическом режиме (преобразованная)

Путем совместного решения уравнений (1), (3) - (6) находим выражение для статической (электромеханической) характеристики электропривода в режиме стабилизации скорости

$$\omega(I) = \frac{U_{зс}}{c \times K_3} - \frac{1 + \frac{K_T \times K_{тп}}{R_{яц}}}{c \times K_3 \times K_{оурз} \times K_{тп}} \times \frac{R_{яц} \times I}{c}. \quad (7)$$

При совместном решении уравнений (2)-(6) найдем выражение для статической характеристики электропривода в режиме ограничения тока

$$I(\omega) = \frac{K_{тэ}}{K_T + \frac{R_{яц}}{K_{тп}}} \times I_{эп.мах}. \quad (8)$$

Если при настройке токоограничения коэффициент  $K_T$ , выбрать из условия

$$K_{тэ} = K_T + \frac{R_{яц}}{K_{тп}}, \quad (9)$$

то выражение (8) принимает вид

$$I(\omega) = I_{эп.мах} = 120 \text{ А}. \quad (10)$$

Таким образом, при настройке токоограничения в электроприводе по условию (9) ток в режиме токоограничения остается равным заданному и не зависит от скорости вращения двигателя  $\omega$ .

Особенностью расчета характеристик в статике в режиме стабилизации

скорости является то, что значения коэффициента астатического регулятора ЭДС принято равным коэффициенту усиления использованного операционного усилителя типа КР551УД 1А, т.е. коэффициент усиления регулятора скорости равен 20000.

Задаваясь рядом значений  $U_{3C}$  от 1В до 10В и изменяя ток двигателя  $I_{об}$  от 0А до  $I_{об.маx} = 120А$ , рассчитываем электромеханические характеристики электропривода по выражению

$$\omega(I) = \frac{U_{3C}}{1,92 \times 0,0235} - \frac{1 + \frac{0,00883 \times 61,16}{0,793}}{1,92 \times 0,0235 \times 20000 \times 61,16} \times \frac{0,793 \times I}{1,92} = \frac{U_{3C}}{0,04512} - 0,0000079 \times I.$$

Результаты расчета сводим в таблицу 7.

Таблица 4-Расчетные данные для построения статических характеристик

$U_{3C}, В$	$I = 0А$	$I = 40А$	$I = 120А$
1	22.1631	22.1628	22.1621
2	44.3262	44.3259	44.3253
5	110.8156	110.8153	110.8147
10	221.6312	221.6309	221.6303

Рассчитанные характеристики построены в программе MathCAD и представлены на рисунке 22.

Найдем погрешность поддержания скорости двигателя для каждой из рассчитанных характеристик по выражению

$$d = \frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100\%.$$

Результаты расчета сводим в таблицу 8.

Таблица 5-Погрешность поддержания скорости двигателя

$U_{зс}, В$	$\delta \%$
0,5	$2,7 \times 10^{-3}$
1	$1,35 \times 10^{-3}$
2	$0,9 \times 10^{-4}$
5	$2,7 \times 10^{-4}$
10	$1,3 \times 10^{-4}$

Из анализа результатов расчетов следует, что система обеспечивает поддержание скорости в рабочем диапазоне нагрузок, соответствующее требованиям технического задания.

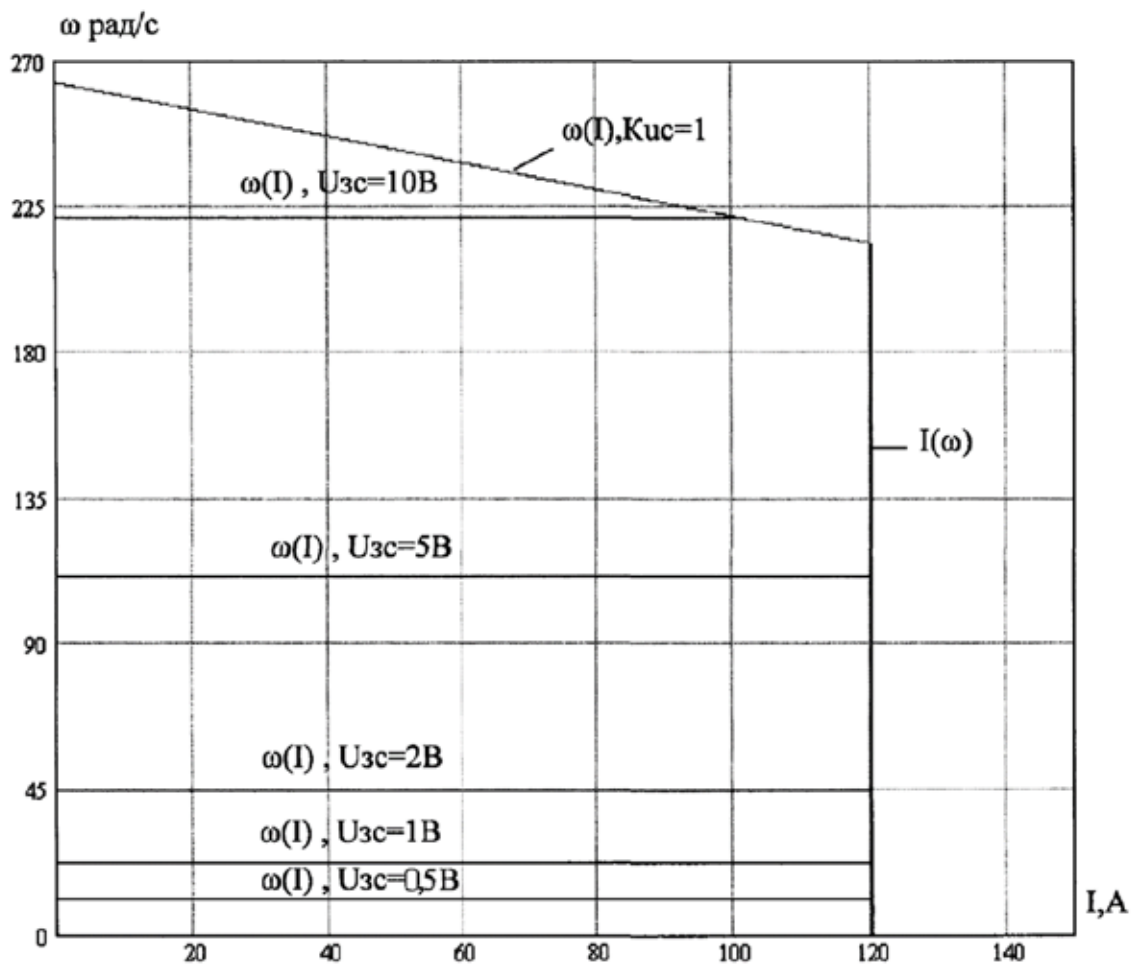


Рисунок 22-Статические характеристики электропривода

### 3.6 Структурная схема нелинейной САУ электропривода

Основными нелинейностями САУ электропривода, влияющими на работу системы при отработке средних и больших входных заданий являются:

- насыщение регуляторов;
- ограничение углов управления тиристорного преобразователя, которое в первом приближении может быть учтено как насыщение;
- реактивный характер нагрузки;
- ограничение тока электропривода на уровне допустимого значения.

На рисунке 23 приведена структурная схема нелинейной САУ электропривода.

Напряжение насыщения регуляторов принимаем на уровне 10В.

Ограничение тока электропривода осуществляется ограничением выходного напряжения регулятора РЭ на уровне

- $U_{р\acute{e}} \text{ доп} = 0.5В$  (при учете дискретности преобразователя в программе Metall),
- $U_{р\acute{e}} \text{ доп} = 1.5В$ . (при представлении тиристорного преобразователя непрерывным устройством в программе Matlab 7).

Максимальное значение ЭДС преобразователя определяется минимальным углом управления  $\alpha_{\text{мин}} = 10^\circ$

$$E_{\text{тпmax}} = E_{\text{д0}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} = 513 \cdot \cos 10 = 505В.$$

Характер нагрузки - реактивный, величина момента полезной нагрузки изменяется незначительно.

Параметры структурной схемы нелинейной САУ ЭП сведены в таблицу 9.

Таблица 6- Параметры структурной схемы нелинейной САУ ЭП

$T_{\text{вхф,с}}$	$K_{\text{р\acute{e}}}$	$T_{\text{р\acute{e},с}}$	$T_1,с$	$T_2,с$	$K_{\text{д\acute{э}}}$	$K_{\text{\acute{э}0}}$	$T_{\text{фн,с}}$	$K_{\text{дн}}$
0,038	0,845	0,1044	0,04	0,001	1	1,17	0,0191	0,02

Продолжение таблицы 6

$K_{тп}$	$T_{тп},с$	$C,Вс$	$J,кГМ^2$	$K_{дт}$	$K_{от1}$	$K_{от2}$	$T_1,с$
161,6	0,00167	1,92	0,278	0,06	0,147	0,115	0,005

Продолжение таблицы 6

$T_2,с$	$R_{дв},Ом$	$T_{дв},с$	$R_{яц},Ом$	$T_{яц},с$	$K_{пос}$
0,001	0,345	0,0191	0,793	0,0194	0,31

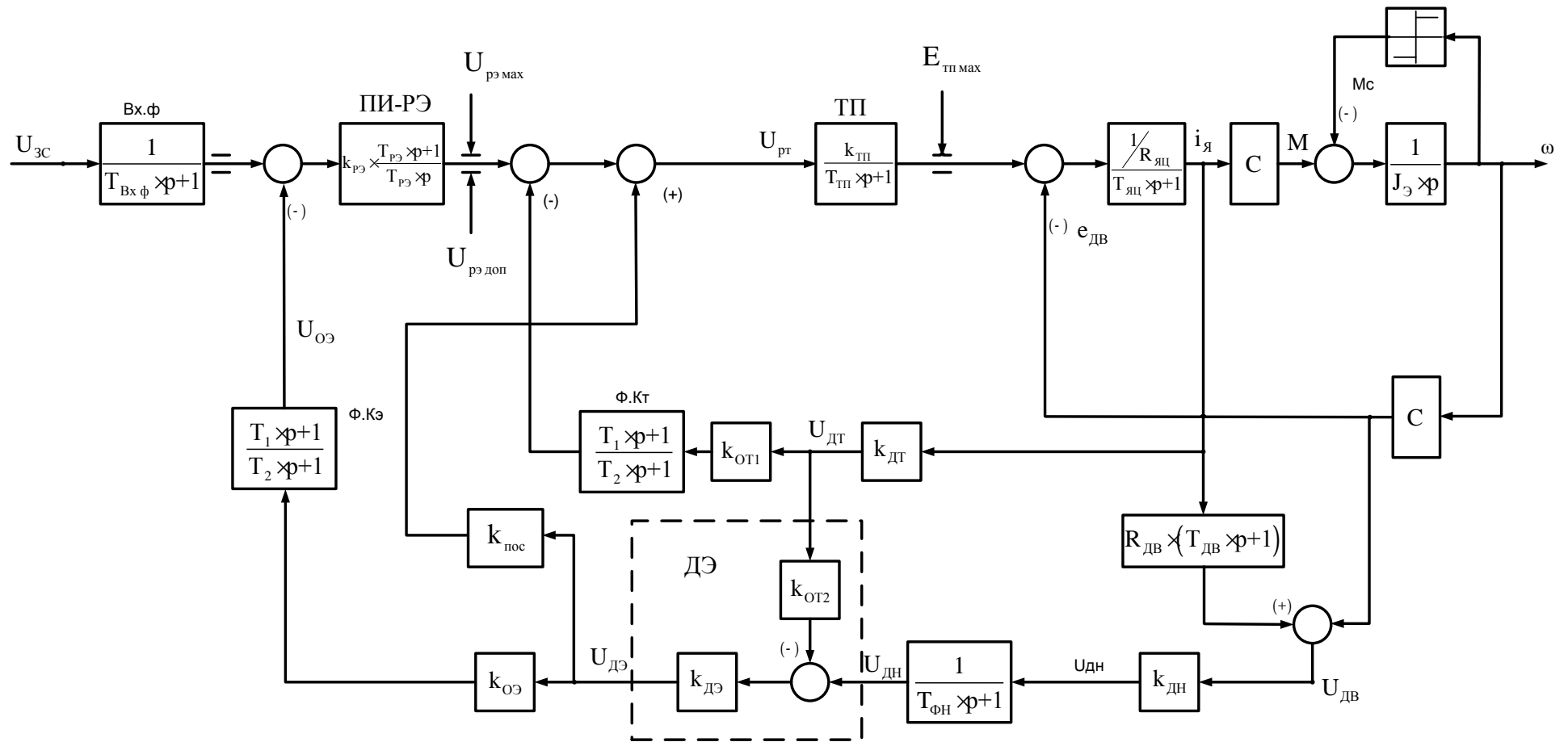


Рисунок 23-Структурная схема нелинейной САУ ЭП

### 3.7 Расчет переходных процессов в нелинейной САУ РЭП

Цель исследований – проверка работоспособности электропривода во всех основных технологических режимах работы.

Исследования сводились к проверке работы САУ электропривода в следующих режимах:

- пуск привода при разных значениях управления;
- торможение электропривода до меньшей скорости;
- торможение двигателя до полной остановки.

Переходные процессы нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный представлены на рисунках 24-28. Расчет переходных процессов выполняется на ЭВМ по программе Matlab.

Имитационная модель составлена на основе структурной схемы рисунка 23.

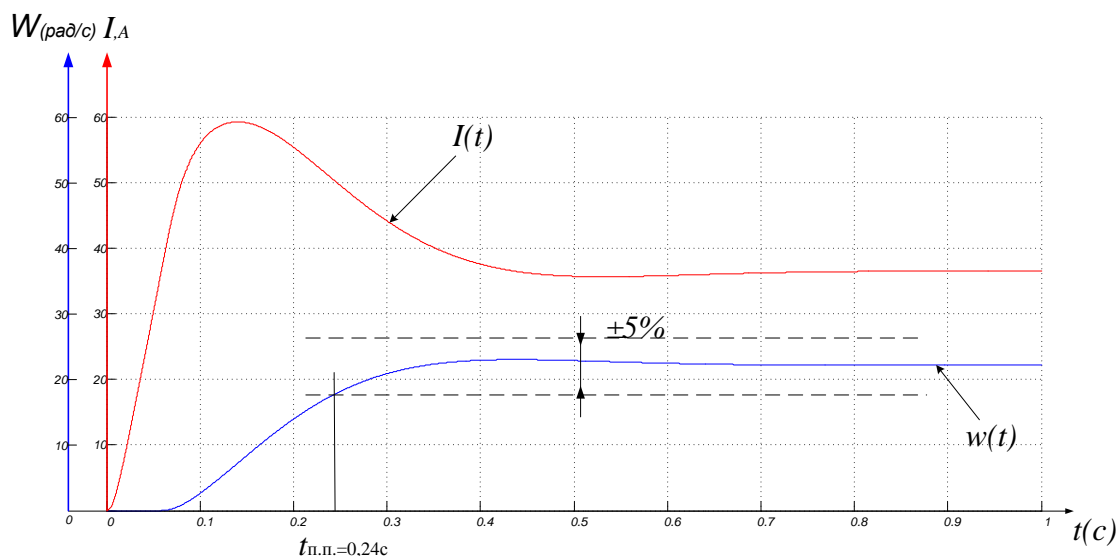


Рисунок 24-Переходные процессы при  $M_c=70 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ,  $U_3=1 \text{ В}$ .



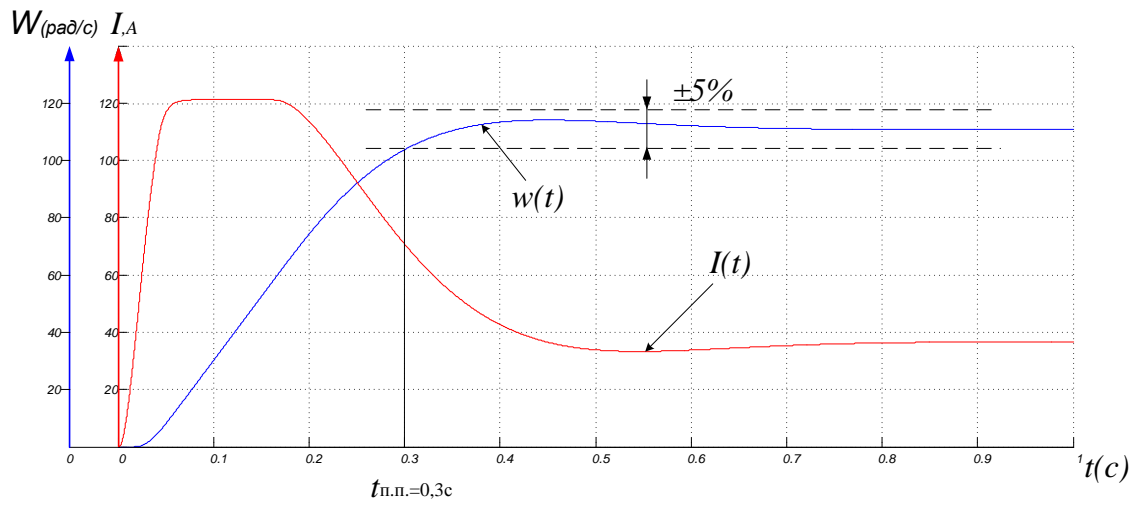


Рисунок 25- Переходные процессы при  $M_c=70 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ,  $U_3=5 \text{ В}$ .

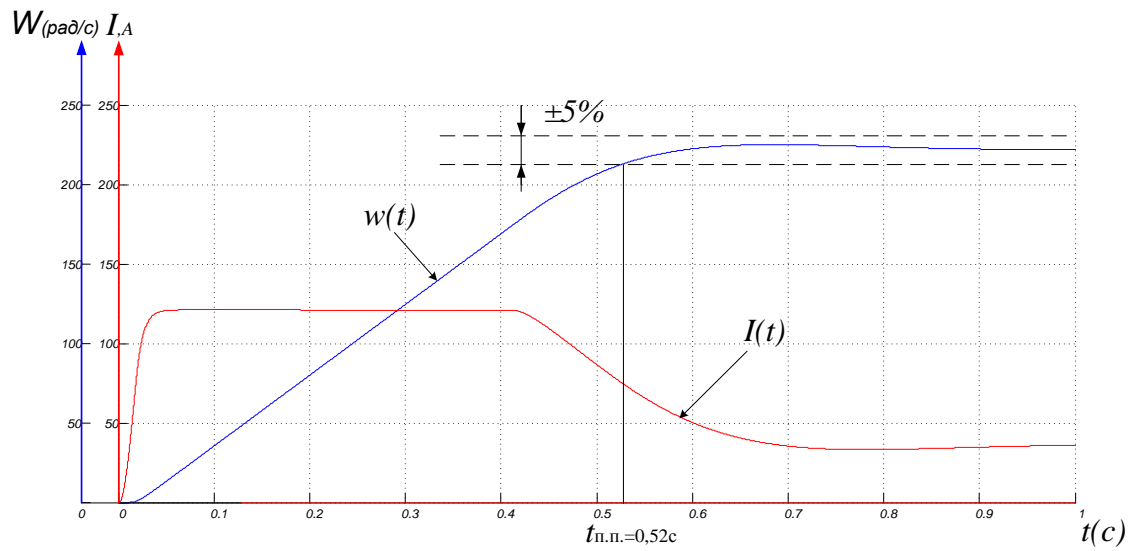


Рисунок 26- Переходные процессы при  $M_c=70 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ,  $U_3=10 \text{ В}$ .

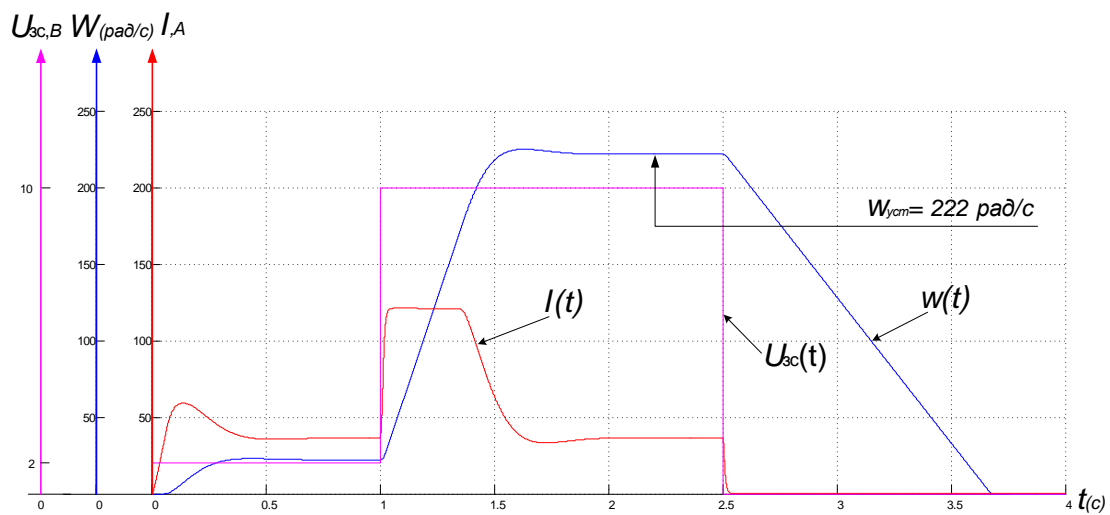


Рисунок 27- Переходные процессы при  $M_c=70$  Н·м, пуск  $U_3=1$ В разгон до  $U_3=10$ В и останов  $U_3=0$ В.

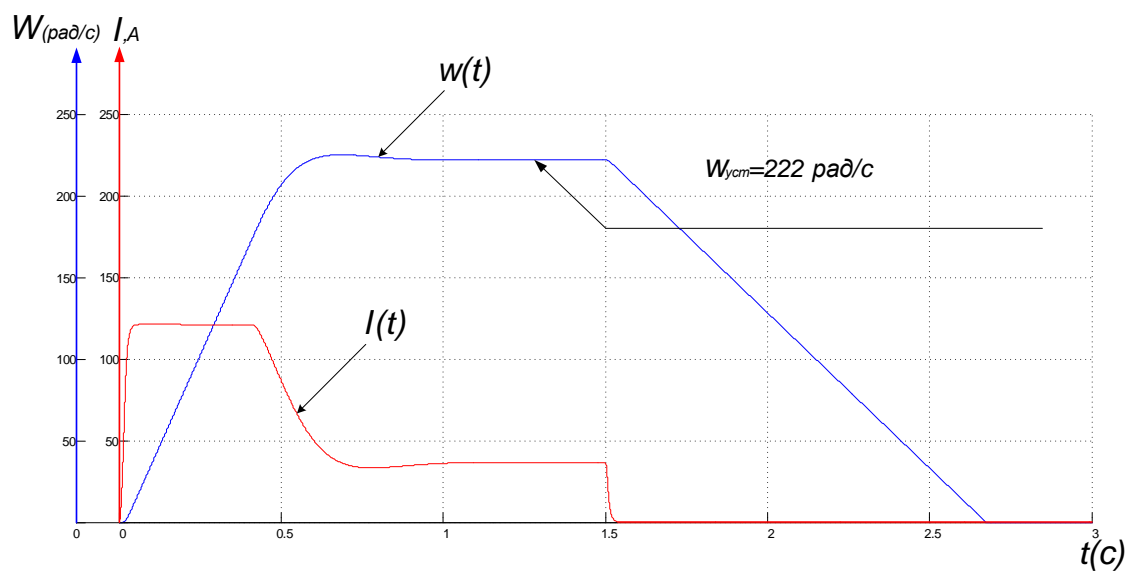


Рисунок 28- Переходные процессы при  $M_c=70$  Н·м, пуск  $U_3=10$ В и останов  $U_3=0$ В.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г4А1	Ходжанов Кунзах Кулимбаевич

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Стоимость затрат технического проекта</i>	В техническом проекте были задействованы 2 человека, (руководитель, дипломник). Затраты на материальные ценности определяются согласно прейскуранту. Заработная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников ТПУ.
<i>2. Продолжительность выполнения</i>	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта 2. Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта</i>	Для составления графика по проектированию электропривода питателя сырого концентрата. • потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа. • оценить технический проект выявляя при этом сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы. • определить трудоемкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая, позволяет спланировать процесс реализации технического проекта.
<i>2. Формирование сметы технического проекта</i>	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: · материальные затраты; · полная заработная плата исполнителей; · отчисления во внебюджетные фонды; · накладные расходы
<i>3. Ресурсоэффективность технического проекта</i>	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности

### Перечень графического материала:

График Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

11,03,2019г.

### Задание выдал консультант:

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

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ходжанов Кунзах Кулимбаевич		

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа работы электропривода питателя сырого концентрата.
- Планирование технико-конструкторских работ.
- Расчет затрат на проектные работы электропривода питателя сырого концентрата.
- Определение ресурсной эффективности проекта.

### **4.1 SWOT-анализ электропривода питателя сырого концентрата**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [20]. Применительно к проекту по разработке электропривода питателя сырого концентрата.

SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

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

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1.

Таблица 1- Матрица SWOT-анализа технического проекта

	<b>Сильные стороны проекта:</b>	<b>Слабые стороны проекта:</b>
	С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации С3. Квалифицированный персонал С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования	Сл1. Повышенный уровень шума Сл3. Значительная стоимость оборудования
<b>Возможности:</b>		
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	В1 С1 С2 С3 С4	В1 Сл2 Сл3;
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	В2 С2 С4	В2 Сл1 Сл2
В3. Резервное питание электропривода питателя сырого концентрата.	В3 С1 С2 С4	В3 Сл2 Сл3.
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В4 С1 С3	
<b>Угрозы:</b>		
У1. Развитая конкуренция технологии производства	У1	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	У2	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	У3 С4	У3 Сл2

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения: «+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта			
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Квалифицированный персонал	С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	-	+	+	+
В3. Резервное питание электропривода питателя сырого концентрата.	+	+	+	+
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	+	-	-	+
Возможности	Слабые стороны проекта			
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования	
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+	
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	+	+	-	
В3. Резервное питание электропривода питателя сырого концентрата.	-	+	+	
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	-	-	-	

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта			
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Квалифицированный персонал	С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
У1. Развитая конкуренция технологии производства	-	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	+
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	-	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта			
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования	
У1. Развитая конкуренция технологии производства	-	-	+	
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	+	-	-	

По результатам интерактивных матриц, приведенных в ниже, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременное ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса.

## **4.2. Планирование технического проекта**

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- разработка графика проведения технического проектирования.

### **4.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования**

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования:

№1 – разработка технического задания (ТЗ) – представляет собой изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, в том числе области применения оборудования, касающихся различных сторон технического проекта;

№3 – сбор исходных данных – это выбор из изученных источников электрических схем соединения; параметров двигателя; параметров частотного преобразователя.

№4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет естественных характеристик электродвигателя, расчет параметров схемы замещения;

№5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;

№6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, частотного преобразователя и определения типа вентилятора местного проветривания;



№7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой;

№8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение механических  $w(M_{эм})$  и электромеханических  $w(\Pi)$  характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите, подготовка презентации;

№10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором дипломник осуществляет защиту своей работы.

#### **4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ**

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта. Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в рабочих-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого значения трудоемкости используется следующая формула [20]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5},$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы раб.дн.;

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

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

### **4.2.3. Разработка графика проведения технического проекта**

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 4.4 строим план-график проведения работ (таблица 4.5.).

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 8,4 декады, начиная со второй декады марта и заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 84 дня.

Из них:

70 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

12 выходных дней и 2 дня праздничных.

7 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя;

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	10	7
3	Сбор исходных данных	Дипломник	6	10	7
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6	10	7
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	2	4	3
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	11	14	12
		Руководитель	1	1	1
8	Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	5	9	7
		Руководитель	1	3	2
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1
		Руководитель	1	1	1

Подэтапы	Исполнители	Раб.дни	Продолжительность выполнения работ										
			Март		Апрель			Май			Июнь		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1. Составление ТЗ	Руководитель	1	■										
2. Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	■	■									
3. Сбор исходных данных	Дипломник	6		■	■								
4. Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6			■	■							
5. Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12			■	■	■						
	Руководитель	1					■						
6. Выбор оборудования	Дипломник	2					■	■					
7. Расчет и проверка модели АД	Дипломник	11					■	■	■				
	Руководитель	1							■				
8. Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12							■	■	■		
	Руководитель	1									■		
9. Оформление пояснительной записки	Дипломник	5									■	■	
	Руководитель	1										■	
10. Сдача технического проекта	Дипломник	1											■
	Руководитель	1											■

### 4.3 Составление сметы технического проекта

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

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

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{\text{расх}i},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, прейскуранта канцелярского магазина ТД «Канцелярский мир».

Привлечение сторонней организации „Netcafe” для типографических работ. приведена в таблице 4.6.

Таблица 4.6. Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	1	320	320
Файлы для бумаги	1	50	50
USB накопитель	1	500	500
Калькулятор	1	300	300
Распечатка текста	200	1.7	330
Итого			1500

### 4.3.2. Полная заработная плата исполнителей ВКР

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

Полная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

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

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} * Т_p,$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к.}}{F_d}$$

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

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

$F_d$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6 – дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.7.

Таблица 4.7– Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во дней	Основная заработная плата, тыс. руб.
Руководитель	33664	10099	43763	1683	7	11,782
Дипломник	12300	3690	15990	615	70	43,050

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной. Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8. – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, тыс. руб	Дополнительная заработная плата, тыс.руб.	Полная заработная плата, тыс.руб.
Руководитель	0,15	11,782	1.767	13,500
Дипломник	0,12	43,050	5,166	48,200
Итого		54,832	6,933	61,700

#### 4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где,  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

$k_{\text{внеб}} = 30,2 \%$  в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 61,7 = 18,6 \text{ тыс. руб.}$$

#### 4.3.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: оплата услуг телефонной связи, интернет, транспортные расходы и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

#### 4.3.5. Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 4.9

Таблица 4.9 – Смета технического проекта.

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
Материальные затраты ТП	1,5	1,5
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	61,7	63,3
Отчисления во внебюджетные фонды	18,6	19,2
Накладные расходы	15,2	16,0
Итого	97,0	100,0



Исходя из представленной выше таблицы 1.9, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 97 тыс. руб. Большая часть (63%) составляют затраты на заработную плату исполнителей.

#### 4.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [11]:

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

где,  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию электропривода питателя сырого концентрата рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

Надежность электропривода питателя – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях атмосферы с содержанием агрессивных реагентов, не стабильным напряжением и высокой влажностью).

Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе.

Энергосбережение электропривода питателя – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

Материалоемкость электропривода питателя – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме.

Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа электропривода. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется в отсутствие большого количества резьбовых соединений.

Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Сравнительная оценка характеристик проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,20	5
Материалоемкость	0,15	4
Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
Производительность труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсо-эффективности:

$$I_{pi}=5 \times 0,25+5 \times 0,2+4 \times 0,15+4 \times 0,15+5 \times 0,15+4 \times 0,1=4,6$$

С точки зрения коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта отметим следующее:

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

В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы:

- произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие

вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

- составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей.

Рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 97 тыс.руб. - определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 (по 5- балльной шкале).

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г4А1	Ходжанов Кунзах Кулимбаевич

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетика</b>	<b>Отделение</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	<b>Асинхронный электропривод шнекового питателя сырого концентрата.</b>
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объектом исследования является асинхронный электропривод шнекового питателя сырого концентрата в цеху селекции и сушки. Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности для переработки промышленных продуктов. (первичные концентраты) железных рудников.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	- Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. - Организация и охрана труда. - Основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации шнекового питателя. - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, где установлены шнековый питатель.
<b>2. Производственная безопасность</b>	<b>Основными вредными факторами являются:</b> - Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания. - Механические колебаниями твердых тел и их поверхностей, (вибрация); - Акустические колебаниями в производственной среде(шум); - Отклонение показателя микроклимата; - Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны). <b>Опасными факторами цеха являются:</b> Возможность получения травм вследствие: а) движения машин и механизмов; б) наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
<b>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</b>	
<b>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</b>	
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	-Анализ воздействия объекта на литосферу(отходы);
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	-Возможные ЧС -Пожар и взрыв
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г4А1	Ходжанов Кунзах Кулимбаевич		

## **5. Социальная ответственность**

Введение.

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе асинхронного электропривода шнекового питателя на обогатительной фабрике, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается асинхронный электропривод. Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока является обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли. Это важно для рассматриваемого производства, так как оно связано с высокой концентрацией пыли в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP54. [14].

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Трудовые отношения на обогатительной фабрике «Мундыбашская» регулируются "Трудовым кодексом Российской Федерации"[23], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

В соответствии с коллективным договором и правилами внутреннего распорядка рабочим считается время, в течение которого работник обязан находиться на рабочем месте и выполнять свои трудовые обязанности.

Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать: при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов.

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены[23]:

I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Дневная смена – I смена, вечерняя - II смена, ночная смена - III смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени (ч. 3 ст. 108 Трудового кодекса РФ). В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 30 минут. Перечень таких работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст.115 ТК РФ[23]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст. 286 Трудового кодекса РФ)[23]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[23].

На работах с вредными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работникам выдается бесплатно по установленным нормам специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты. В соответствии со статьей 222 Трудового кодекса Российской Федерации на работах с вредными условиями труда предоставляется бесплатно по установленным

нормам лечебно-профилактическое питание.

Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 [18].

Напряжение питания 220 и 380В. Электроустановки до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

## 5.2 Производственная безопасность

Табл.5.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изготов- ление	Эксплуа- тация	
1. Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность).			+	ПБ 05-580-03 Правила безопасности на предприятиях по обогащению и брикетированию углей (сланцев) [24]
2. Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).			+	Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху обогащения – 90дБ.
3. Акустические колебаниями в производственной среде (шум)			+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
4. Отклонение показателей микроклимата.			+	Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]: СанПиН 2.2.4.548-96
5. Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)			+	Требуемая норма освещения Енор=200 ЛК. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[28].
6. Возможность получения травм вследствие: Движения машин и механизмов;			+	ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ Наличие безопасных путей для прохода рабочих, применение ограждения движущихся частей машин и механизмов, применение бирочной системы или наряда-допуска, строгое соблюдение правил техники безопасности, применение звуковой и световой сигнализации, исправное состояние спецодежды.
7. Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.			+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТП Применение заземления ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ и зануления оборудования, наличие бирочной системы, соблюдение правил ТБ.

### **5.2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредным факторам на рассматриваемом производстве относятся:

Ø **Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность).**

В процессе переработки промышленных продуктов, в воздушной среде повышается уровень запыленности и загазованности. Неблагоприятное воздействие пыли на организм может быть причиной возникновения различных заболеваний: специфических (пневмокониозы, аллергические болезни) и неспецифических (хронические заболевания органов дыхания, заболевания глаз и кожи) пылевые поражения. Производственные пыли относятся к четвёртому классу опасности (малоопасные). ПДК пыли в воздухе рабочей зоны не должны превышать для углеродной пыли с содержанием диоксида кремния: 6 мг/куб.м (антрацит) и 10 мг/куб.м (уголь, сланцы) - до 5%; 4 мг/куб.м - 5 - 10%; 2 мг/куб.м - более 10%.[21].

Ø **Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).**

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации является работа шнекового питателя. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху шнекового питателя ОАО “Мундыбашская” –90дБ.

Ø **Акустические колебаниями в производственной среде (шум)**

Опасности психологической группы связаны с шумом в обслуживании питателя, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты питателя в рабочем состоянии.

В



обогащительной фабрике шум достигает 75—80 дБ.

Ø **Отклонение показателей микроклимата.**

В основу нормирования микроклимата положены условия, при которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

Работы оператора по обслуживанию шнекового питателя относятся к категории средней тяжести 2а (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч) [15].

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]:

• температурой воздуха:

- в холодный период года  $t=19-21^{\circ}\text{C}$ ;
- в тёплый период года  $t=20-22^{\circ}\text{C}$ ;

• влажностью воздуха:

- в холодный период года 60-40 %;
- в тёплый период года 60-40%;

• скорость движения воздуха:

- в холодный период года 0,2 м/с;
- в тёплый период года 0,2 м/с.

Ø **Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)**

Безопасность на обогащительной фабрике в значительной мере зависит от освещения. Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность.

При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к

травматизму.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17]. Требуемая норма освещения  $E_{нор}=200$  ЛК. Для создания  $E_{нор}$  применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

### **5.3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды**

#### **Возможность получения травм вследствие:**

##### **А) Движения машин и механизмов**

Основными причинами травмированы рабочих при эксплуатации шнекового питателя является: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей муфт, приводов, барабанов; ремонт и смазка шнекового питателя во время его работы; включение шнекового питателя без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (проход под шнековым питателем во время его работы.).

Для исключения возможности получения травм в работе на шнековом питателе допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления питателем и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

##### **Б) Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.**

Основными причинами поражения человека электрическим током являются: удар электрическим током при использовании неисправных электроприборов; присоединение к незаземленным частям электроустановки (контакты, провода, зажимы и т.д.); Последствия при поражении электр.током- термические

ожоги, потеря сознания, разрыв внутренних органов, костных тканей и смерть.

Виды электрических травм: местные, когда возникает местное повреждение организма; общие, так называемый электрический удар, когда непосредственно нарушается весь организм, из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Местные электрические травмы – это ярко выраженное местное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги. Чаще всего это поверхностные повреждения, т. е. поражение кожи, а иногда и других мягких тканей, а также связок и костей. Опасность местных травм и сложность их лечения зависит от места, характера и степени повреждения тканей, реакции организма на это повреждение. Как правило, местные электрические травмы излечиваются, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. Смерть от местных электрических травм - редкий случай (обычно при тяжелом ожоге человек погибает). Причиной смерти при этом является не ток, а местное повреждение организма, вызванное током.

Характерные местные электрические травмы.

электрические ожоги – 40 %

электрические знаки – 7 %

металлизация кожи – 3 %

механические повреждения – 0,5 %

Электроофтальмия – 1,5 %

Смешанные (ожоги + др. местные электротравмы) – 23 %

Электроожог – самая распространенная электротравма.

Возникает у 63 % пострадавших от электротока. 23 % (т.е. треть из них) сопровождается другими травмами. 85 % ожогов приходится на электромонтеров, обслуживающих действующие ЭУ.

#### **5.4. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов**

**Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность).**

В рассматриваемой фабрике борьба с пылью ведётся с помощью промышленного пылесборника, так как технологический процесс требует ликвидации пыли. К индивидуальным средствам защиты относятся противо-пылевые респираторы, защитные очки, специальная противопылевая одежда.

Производственный процесс относится к 1а группе (избытки явного тепла незначительны, отсутствуют значительные выделения влаги, пыли, особо загрязняющих веществ). [15].

**Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация)**

Снижение неблагоприятного воздействия общей вибрации устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые представляют собой упруго-демпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации.

В качестве средств индивидуальной защиты работающих, используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготовляют из упругодемпфирующих материалов.

**Акустические колебаниями в производственной среде (шум)**

При превышении уровня шума в рабочей зоне от 80 дБА, наниматель должен провести оценку риска здоровью персонала и подтвердить приемлемый риск здоровью[20].

Если эквивалентный уровень шума – от 85 дБА, то работать нельзя [20]. Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума уста-

новлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

### **Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)**

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17]. Требуемая норма освещения  $E_{нор}=200$  ЛК. Для создания  $E_{нор}$  применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

### **Основными мероприятиями для защиты от поражения электрическим током являются: Организационные и Технические.**

Организационные мероприятия включают в себя:

Правильный подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также не обученных и не прошедших медицинское освидетельствование для работы данного вида);

обучение правилам безопасности при обслуживании электроустановок, т. е. проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной опасностью, аттестации, инструктаж по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.);

назначение ответственных за электрохозяйство лиц;

контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ;

проведение периодических осмотров, измерений и испытаний электрооборудования (в сухих помещениях — 1 раз в два года, в сырых — ежегодно, при этом сопротивление рабочей изоляции проводов, кабелей и электрооборудования в процессе эксплуатации не должно быть менее 0,5 и 2 М Ом для двойной или усиленной изоляции), а в случае несоответствия предъявляемым требованиям —

его ремонта;

контроль за надежностью СИЗ от поражения электрическим током.

Технические мероприятия. К ним относят:

Применение устройств (предохранителей, отключающих реле и т. п.) защиты электроустановок и сетей от перегрузок, а также токов коротких замыканий; защиту людей и животных от прикосновения к токоведущим частям оборудования посредством применения глухого ограждения высоковольтного оборудования и размещения его в отдельных зданиях, изоляции токоведущих частей электрооборудования, установки защитных ограждений, расположения электроприборов на недоступной для людей и животных (более 2 м) высоте;

защита от поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические корпуса электроустановок; устройство защитного заземления; зануление электроустановок в сетях с глухо-заземленной нейтралью; применение защитного отключения; использование электрооборудования с малым (менее 42 В) напряжением; выравнивание потенциалов электрооборудования и земли в местах нахождения людей и животных; изоляция электроустановок и электродвигателей от корпусов рабочих машин; применение диэлектрических настилов и изолирующих площадок

## **5.5 Экологическая безопасность**

В процессе эксплуатации перерабатываемой фабрики образуются отходы производства: отходы углеобогащения, отходы чёрного металла, отработанные ртутные лампы, отработанные индустриальные масла, бытовой мусор. Собственных мест хранения, захоронения отходов у ОФ «Мундыбашская» нет. Все отходы предприятие передает различным организациям для дальнейшей утилизации. На предприятии разработан проект нормативов образования и лимитов размещения отходов на основании нормативных актов, действующих в сфере обращения с отходами. В соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей среды» и другими законодательными документами, а также с целью под-

держания экологического равновесия в районе на ОФ «Мундыбашская» проводится экологический мониторинг.

Основные виды мониторинга:

- мониторинг загрязнения атмосферы - проводится на границе санитарно -защитной зоны предприятия;

- мониторинг сточных вод - проводится по безымянному ручью на входе его на промплощадку и при выходе с промплощадки.

Функции и обязанности по соблюдению норм в области охраны окружающей среды выполняет инженер по охране окружающей среды, действующий на основании «Положения о производственном контроле...» и Должностной инструкции инженера по охране окружающей среды.

## **5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Техногенные пожары и взрывы — это происшествия, которые вызваны хозяйственной деятельностью человека. В связи с насыщенностью сферы производства сложной техникой, такие чрезвычайные ситуации происходят все чаще, что вызывает большое беспокойство специалистов.

Техногенное происшествие содержащее угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и т.п.

В данном технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к воспламенению изоляционного материала, разрушению механических частей, получению травм обслуживающего персонала.

На рабочем месте каждый электропривод оборудования должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок. Установлены системы предотвращения пожара и противопожарной защиты.

Предупреждение ЧС, готовность к ним и реагирование должны быть составной частью системы управления охраной труда В организации.

В соответствии с этим в каждой организации должны быть определены мероприятия по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию.

**Мероприятия должны:**

- Гарантировать, что имеющаяся необходимая информация, оповещение и координация действий работников обеспечат защиту всех людей в случае аварийной ситуации в рабочей зоне;
- Предоставлять информацию соответствующим службам аварийного реагирования и обеспечивать их быстрое оповещение при аварии;
- Предусматривать оказание первой медицинской помощи, проведение противопожарных мероприятий и эвакуацию всех людей, находящихся в рабочей зоне;
- Предоставлять соответствующую информацию и возможность подготовки всех работников, включая проведение регулярных тренировок по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию.

**5.6.1 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок;**

Защита электрооборудования и электрических сетей от токов короткого замыкания и значительных по величине и продолжительных перегрузок осуществляется предохранителями с плавкими вставками и автоматическими выключателями. При выборе аппаратов защиты должны быть соблюдены следующие условия:

- номинальное напряжение предохранителя должно быть равно или больше номинального напряжения сети
- плавкая вставка предохранителя не должна плавиться при расчетном токе
- плавкая вставка не должна расплавляться при пиковых токах

**5.6.2 Воспламенения изоляции вследствие повышения температуры**

С физической точки зрения, источниками загорания, проявляющимися при описанных аварийных электрических режимах, являются:



- а) сильное тепловыделение при прохождении тока. Это может происходить по причине несоответствия величины протекающего тока и сечения проводника – либо за счет того, что ток слишком велик для данного штатного проводника (перегрузка) или микроканала, по которому проходит ток утечки (нагрев при не полном коротком замыкании)
- б) искры, возникающие при больших переходных сопротивлениях, а также работе коммутационных устройств другого искрящего «электрооборудования»;
- в) макродуги, возникающие при коротком замыкании;
- г) раскаленные частицы и капли расплавленного металла, образующиеся при коротком замыкании

При анализе версий обычно учитывают, что источники зажигания как правило проявляют себя не поодиночке, а в комплексе. И при коротком замыкании, и при перегрузке, и больших переходных сопротивлениях часто имеет место сочетание последовательно или параллельно протекающих физических процессов и в каждом из них в ходе развития может проявиться несколько указанных факторов:

- при металлическом коротком замыкании – электрическая дуга с присущими «опасными факторами», но, плюс к этому, может проявиться и перегрузка за счет прохождения по электрической цепи тока короткого замыкания
- при неметаллическом коротком замыкании – утечка тока, нагрев изоляции, и ее карбонизация, разложение (если она представляет собой органический материал), но, в конечном счете, дело может закончиться пробоем и электрической дугой, опять же, с присущими ей «опасными факторами» и характерными следами (дуговыми оплавлениями)
- при перегрузке – нагрев проводников на протяженном участке и более сильный – в локальных зонах БПС. Если последние присутствуют в электрической цепи, то горение при перегрузке, скорее всего, возникнет в зоне их нахождения, если там имеются соответствующие горючие материалы. Если нет, то изоляция перегруженного провода может загореться в любом другом месте. Закончиться же все может, как и в предыдущих случаях, электрической дугой и дуговыми оплавлениями.

## Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является модернизация электропривода питателя сырого концентрата.

В результате выполненной выпускной квалификационной работы спроектирован электропривод, полностью отвечающий требованиям технического задания. Так, электромеханические характеристики электропривода, ограниченные значениями  $W = W_{\text{макс}}$  и  $I = I_{\text{доп}}$ , удовлетворяют номинальным значениям области существования характеристик проектируемой системы преобразователь-двигатель.

Статические характеристики привода при настройке с ПИ-регулятором ЭДС при минимальной скорости имеют наибольшую погрешность  $\Delta w = 0,00135\%$ , что удовлетворяет заданным требованиям по точности поддержания скорости.

При исследовании переходных процессов установлено, что динамические показатели качества САУ РЭП во всём диапазоне регулирования скорости полностью удовлетворяют требованиям технического задания. Время пуска электропривода на максимальную скорость при номинальной нагрузке составляет  $t_n = 0.41\text{с}$ , при  $U_{3c} = 5\text{В}$ ,  $t_n = 0.2\text{с}$ , при  $U_{3c} = 1\text{В}$ ,  $t_n = 0.18\text{с}$ ; перерегулирование  $\delta = 0\%$ . Время останова электропривода питателя сырого концентрата при номинальной нагрузке и скорости составляет  $0.87\text{с}$ .

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

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

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

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

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

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

В разделе «Социальная ответственность» проекта освещены вопросы: промышленной безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды.

## Список использованной литературы

1. Паспорт ИГФР. 654673. 001-25 ПС. Электропривод унифицированный трех фазный серии ЭПУ 1-1-Е, 50с.
2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации «Машины постоянного тока серии 2П», 16 с.
3. Технический паспорт «Редукторы серии РМ», 15 с.
4. Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. Государственное Энергетическое издание. Москва, 1963.- 772с.
5. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977 г.-400 с.
6. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие. Томск, 1991.-104 с.
7. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Учебное пособие.- Томск, 2000.-144с.
8. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 3. Учебное пособие.-Томск, 2002.-148с.
9. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 4. Учебное пособие.-Томск, 2002.-150с.
10. Кояин Н.В., Удут Л.С., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. Учебное пособие.-Томск, 2001.-155с.
11. Ценник проведения пусконаладочных работ. 1986.
12. Королева Н.И. Техничко-экономические показатели при проектировании электроприводов: Методическое пособие: Томск, 1993.
13. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок ПОТРМ-016-2001 РД 153-34.0-

03.150-00.

14. Процессы производственные. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.3.002.

15. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.2.003.

16. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. ГОСТ 12.1.038 изменение 01.04.88.

17. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. РД 153-34.0-08.301-00 (ВППБ 01-02-95).

18. Правила безопасности при работе с инструментом и приспособлениями. Министерство топлива и энергетики российской федерации. 2000г.

19. Об основах охраны труда в Российской Федерации. Федеральный закон от 17 июля 1999 года № 181-ФЗ.

20. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

21. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.

22. Беспмятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде Л.: Химия, 1987.-50с.

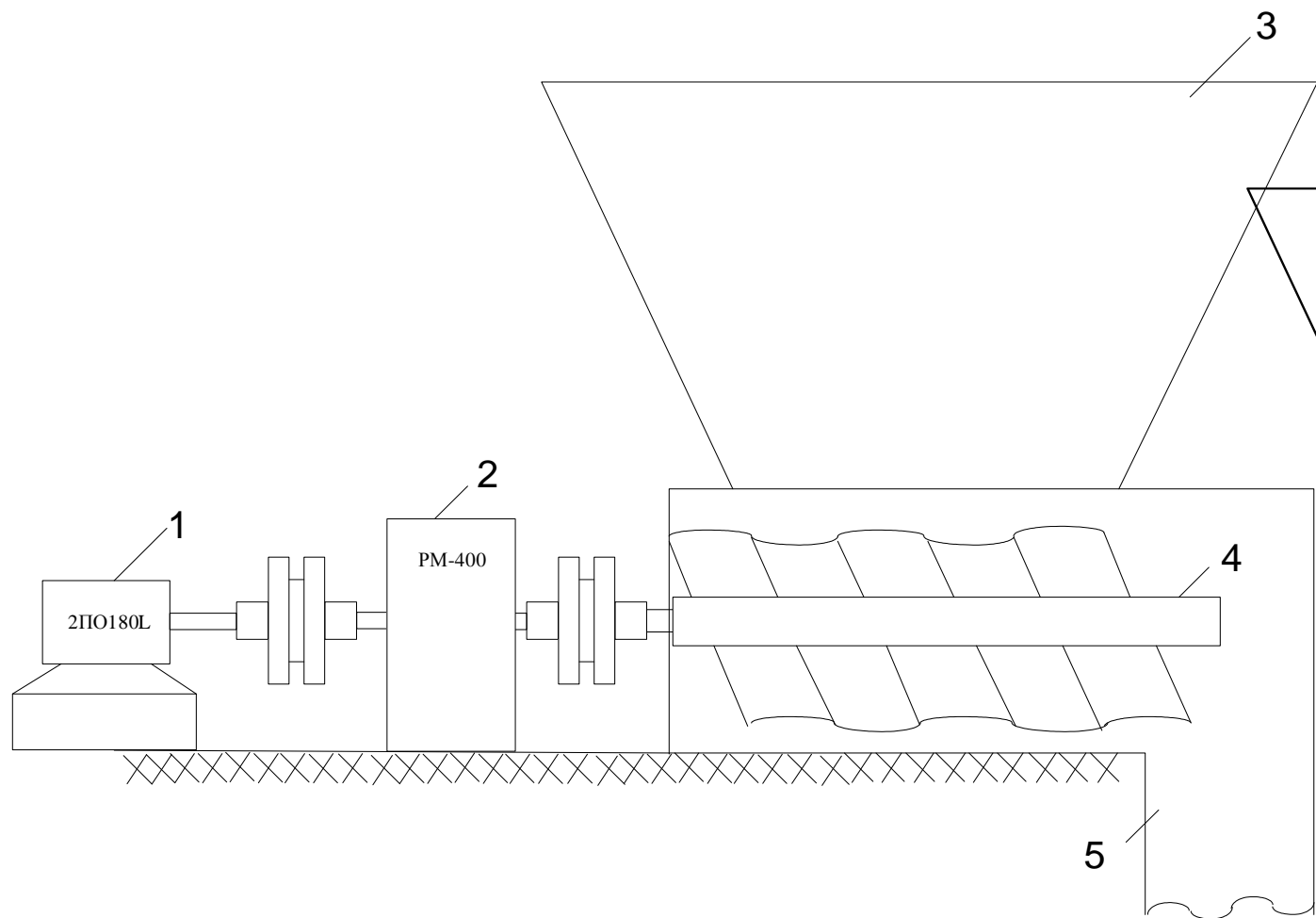
23. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков под редакцией В.Н. Соколова М: Стройиздат, 1992.-48с.

24. Цапко Е.А., Чернышев А.А. Система образовательных стандартов. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. СТП ТПУ2.5.01-99. ТПУ, 1999.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Графический материал

### Общий вид питателя сырого концентрата



1-двигатель;

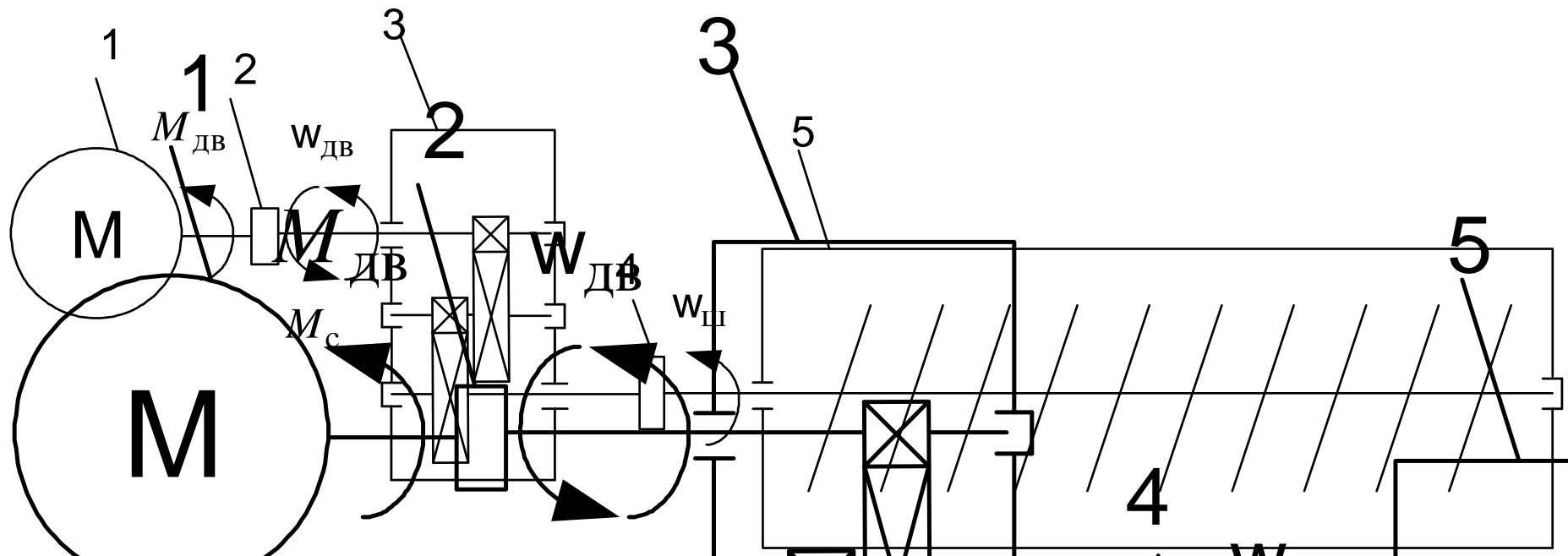
2-редуктор;

3-бункер сырого концентрата;

4-шнек;

5-точка сырого концентрата.

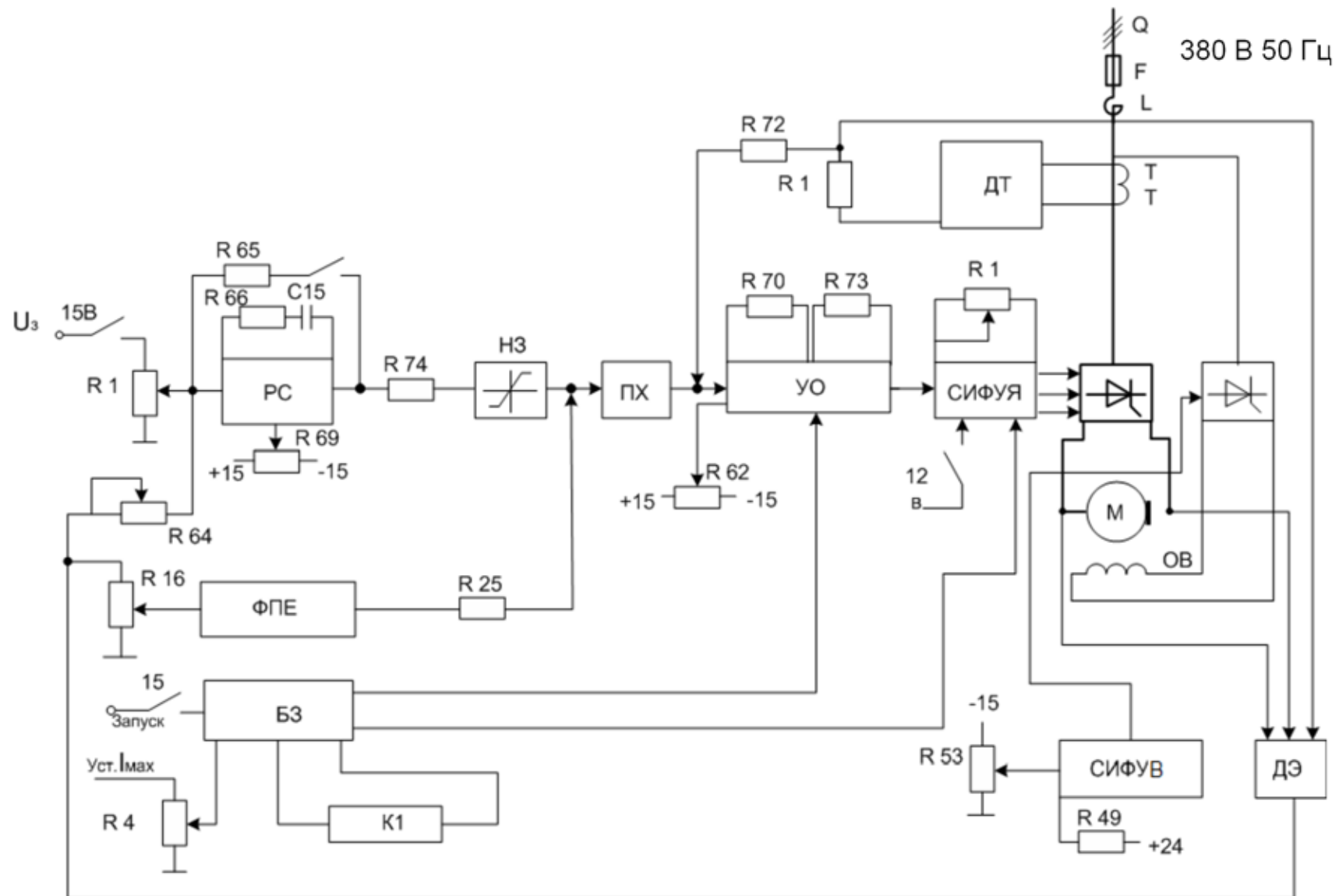
### Кинематическая схема механизма



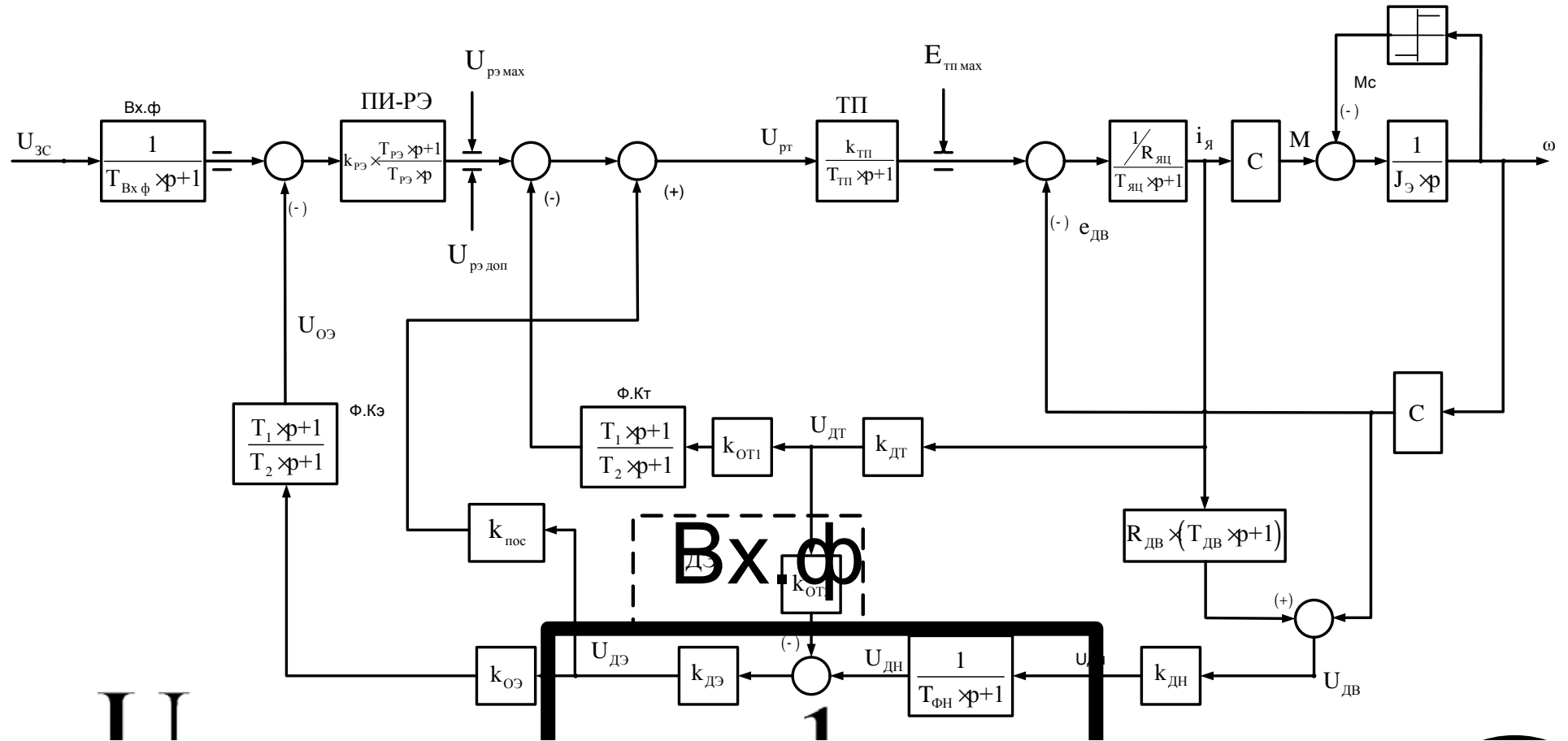
1-электродвигатель; 2,4-жёсткая муфта; 3 - редуктор ; 5 - шнек;  $M_{дв}$  - вращающий момент, развиваемый приводным двигателем;  
 $M_c$ -момент сопротивления механизма;  $\omega_{дв}$  и  $\omega_{ш}$ -угловые скорости двигателя и шнека



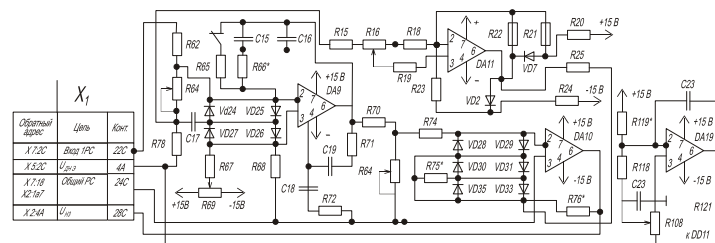
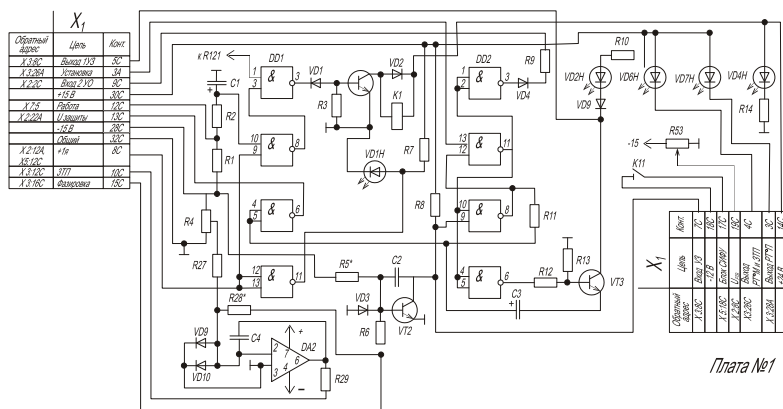
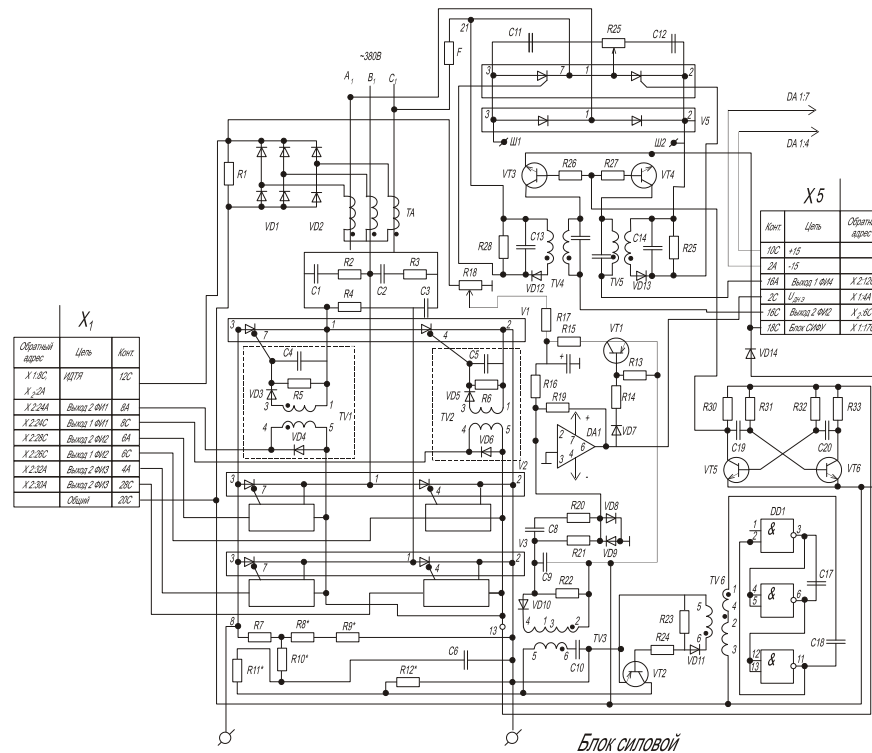
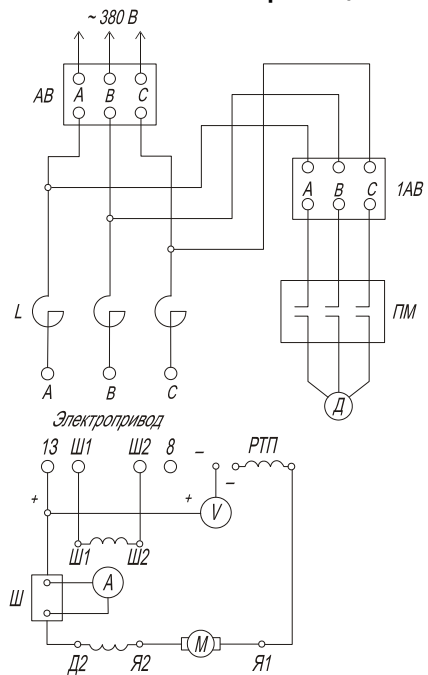
## Функциональная схема электропривода



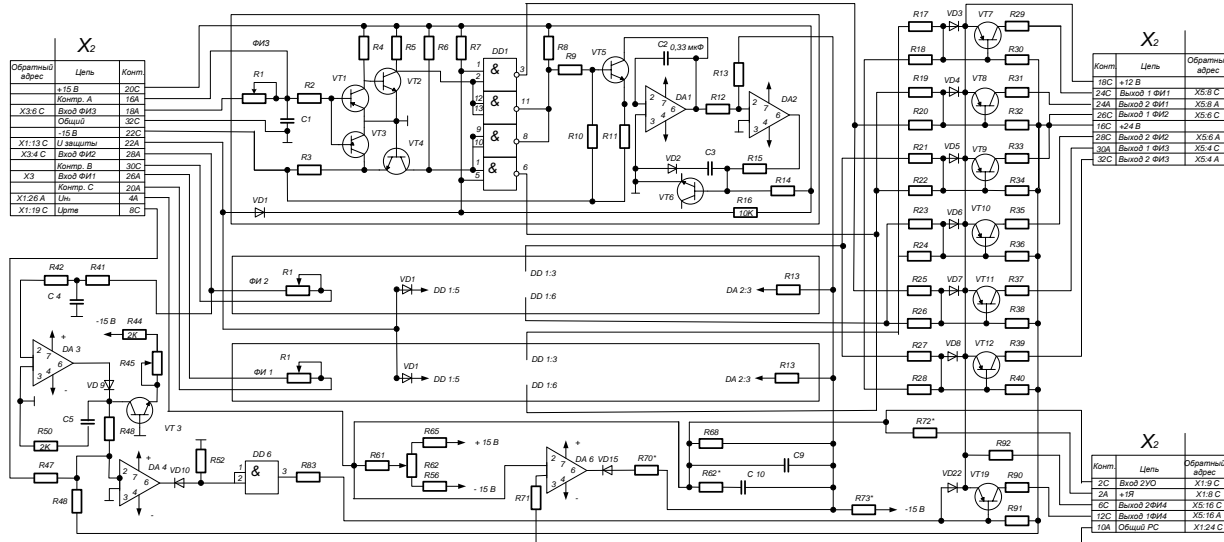
## Структурная схема электропривода питателя



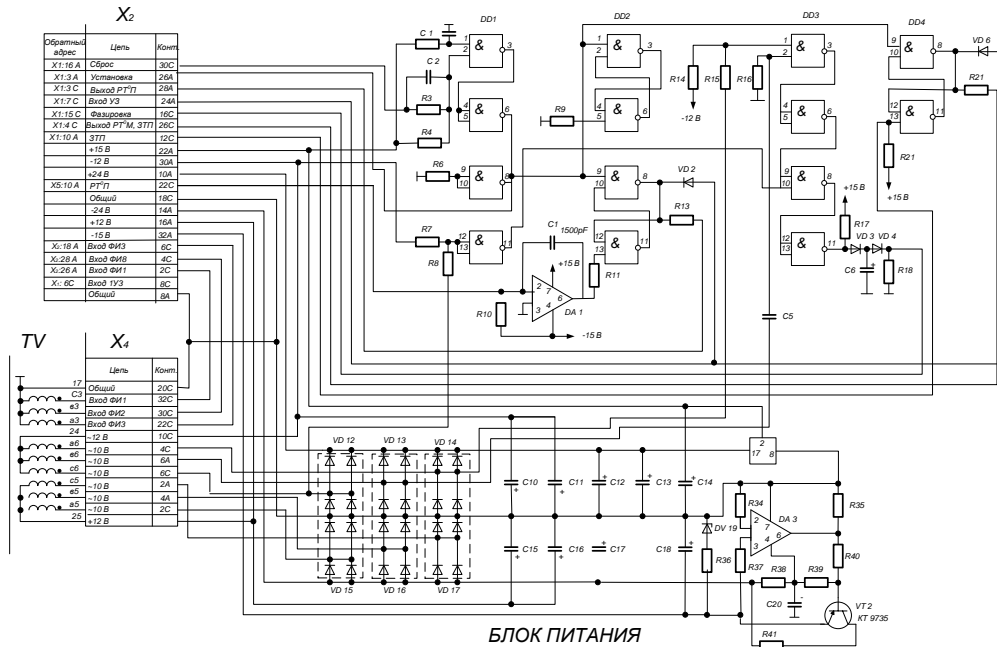
## Принципиальная схема электропривода питателя



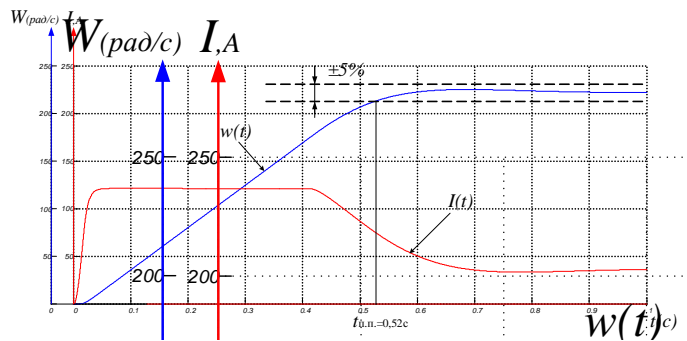
# Принципиальная схема электропривода питателя



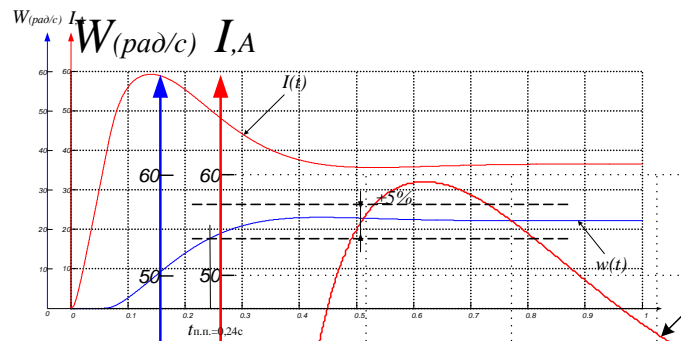
ПЛАТА №2



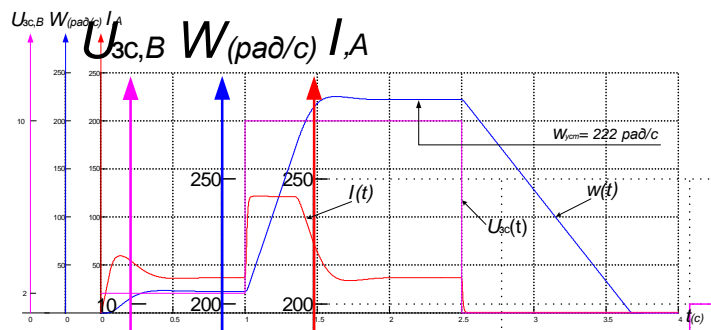
БЛОК ПИТАНИЯ



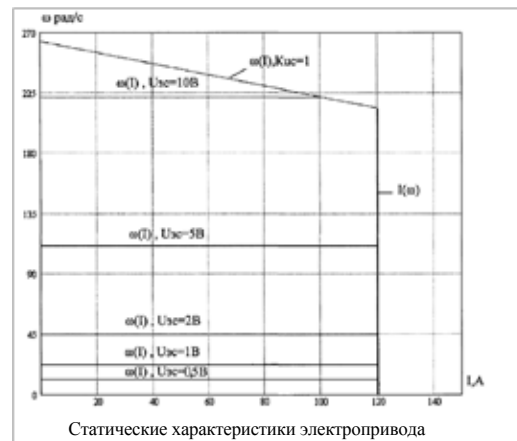
Переходные процессы при  $M_c=70$  Н·м,  $U_s=10$  В.



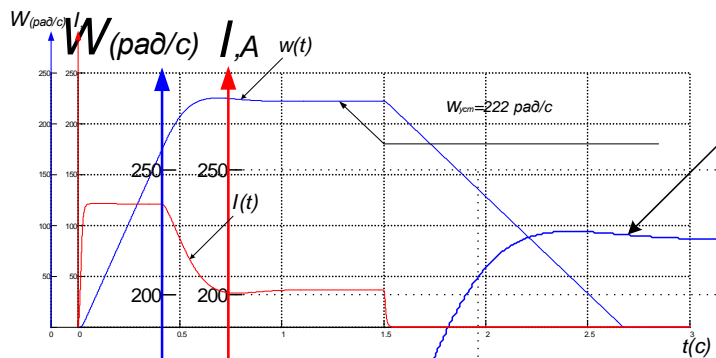
Переходные процессы при  $M_c=70$  Н·м,  $U_s=1$  В.



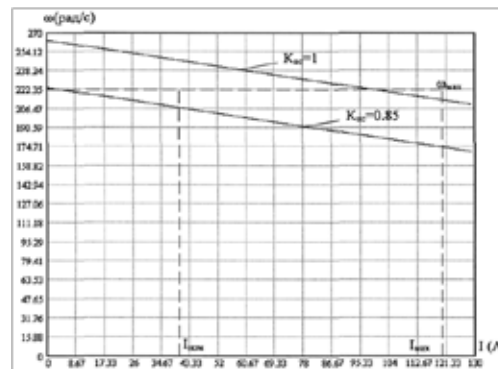
Переходные процессы при  $M_c=70$  Н·м, пуск  $U_s=1$ В разгон до  $U_s=10$ В и останов  $U_s=0$ В.



Статические характеристики электропривода



Переходные процессы при  $M_c=70$  Н·м, пуск  $U_s=10$ В и останов  $U_s=0$ В.



Электромеханические характеристики

## График выполнения ПНР

