

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод постоянного тока питателя сырого концентрата

УДК 62-83-523:621.867.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Мулладжонов Бобур Хошимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Умурзакова Анара	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

(Подпись) _____ (Дата) Ю.Н. Дементьев
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Мулладжонову Бобуру Хошимовичу

Тема работы:

Электропривод постоянного тока питателя сырого концентрата

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	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 дина-

	мических характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Умурзакова Анара-			05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Мулладжонов Бобур Хошимович		05.04.2018г.

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° до 45°С и относительной влажности не более 80%.

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 103 страницы машинописного текста, 29 рисунка, 15 таблиц, 22 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, $P=16$ 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.

В разделе экономики произведен расчет сметы на пуско-наладочные работы электропривода питателя сырого концентрата.

В разделе «Безопасность и жизнедеятельность» рассмотрены вопросы охраны труда и ТБ. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

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

Содержание

Введение	8
1 Описание технологического процесса	9
1.1 Индивидуальная схема пылеприготовления	9
1.2 Шаровая барабанная мельница Ш-16	11
1.3 Шнековый питатель сырого концентрата	14
1.4 Редуктор	15
1.5 Определение момента инерции шнека	17
1.6 Кинематическая схема механизма	20
1.7 Расчетная схема механической системы электропривода	21
2 Выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода	22
2.1 Обоснование выбора рода тока и типа электропривода	22
2.2 Выбор электродвигателя	27
2.3 Выбор преобразователя	31
2.4 Выбор токоограничивающего реактора	33
2.5 Выбор сглаживающего реактора	34
2.6 Расчетные параметры якорной цепи	36
2.7 Проверка области существования электромеханических характеристик электропривода	37
2.8 Электромеханические характеристики системы преобразователь-двигатель	40
2.9 Структурная схема силового канала электропривода	44
3 Синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода	46
3.1 Функциональная схема электропривода	46
3.1.1 Силовая схема якорной цепи	46
3.1.2 Система импульсно-фазового управления якорной цепи	46
3.1.3 Система импульсно-фазового управления цепи возбуждения	48
3.1.4 Датчик напряжения	50
3.1.5 Регулятор скорости	50
3.1.6 Адаптивное устройство	51
3.1.7 Защита, сигнализация и обменные сигналы	51
3.1.8 Блок питания	56
3.2 Структурная схема линеаризованной САУ РЭП	57
3.3 Оптимизация контура тока	59
3.4 Оптимизация контура ЭДС	60
3.5 Расчет статических характеристик электропривода	62
3.6 Структурная схема нелинейной САУ электропривода	67

3.7 Расчет переходных процессов в нелинейной САУ РЭП	70
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	73
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	74
4.1 Обоснование необходимости применения регулируемого электропривода питателя	74
4.2 Структура пусконаладочных работ	75
4.3 Определение сметной стоимости пусконаладочных работ	79
4.4. Расчет эксплуатационных затрат	82
4.4.1 Амортизационные отчисления	82
4.4.2 Затраты на эксплуатацию и текущий ремонт	83
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	84
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	85
ВВЕДЕНИЕ	85
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	85
5.2 Экологическая безопасность	88
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	88
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	89
Заключение	92
Список использованной литературы	93
ПРИЛОЖЕНИЕ А	95

Введение

Мундыбашская обогатительно-агломерационная фабрика была построена в 1935 году, как рудоприготовительное предприятие для Кузнецкого металлургического комбината. Фабрика перерабатывала промпродукт (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 длительным сроком эксплуатации фабрики (более 65 лет) основные ее сооружения изнашивались, пришли в ветхое состояние. Постоянные ремонтные и восстановительные работы позволяют поддерживать жизнедеятельность только обогатительного производства. Агломерационное производство на фабрике закрыто, как по причинам несовершенства технологии, так и в связи с невостребованностью некачественного по современным требованиям концентрата мундыбашского агломерата на КМК и ЗСМК. Так в 1994 году после реконструкции и технологического перевооружения фабрика переориентировалась в монопрофильную - обогатительную. В состав реконструируемых производств и объектов были включены обогатительное производство со строительством второй стадии измельчения и обогащения, а также строительство корпуса сушки концентрата в зимний период. Однако в связи с отсутствием средств и по другим причинам технологического и организационного порядка принято решение о строительстве в настоящее время только корпуса сушки.

1 Описание технологического процесса

1.1 Индивидуальная схема пылеприготовления

К системам пылеприготовления относятся:

- схемы с сушкой воздухом или газовой воздушной смесью;
- схемы с рециркуляцией газовой воздушной смеси (воздуха) во входную горловину мельницы, обычно применяемая при избытке тепла сушильного агента и для повышения скорости воздуха в мельнице или снижения температуры сушильного агента перед мельницей;
- схемы с подачей пыли из промежуточного бункера горячим воздухом, нагнетаемым дутьевым вентилятором или вентилятором горячего дутья со сбросом отработавшего сушильного агента в топочную камеру через специальные сбросные горелки.

На рисунке 1 приведена схема индивидуального пылеприготовления с пылевым бункером для шаровых барабанных мельниц при подаче пыли горячим воздухом с температурой больше 350°C.

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 топки. 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.

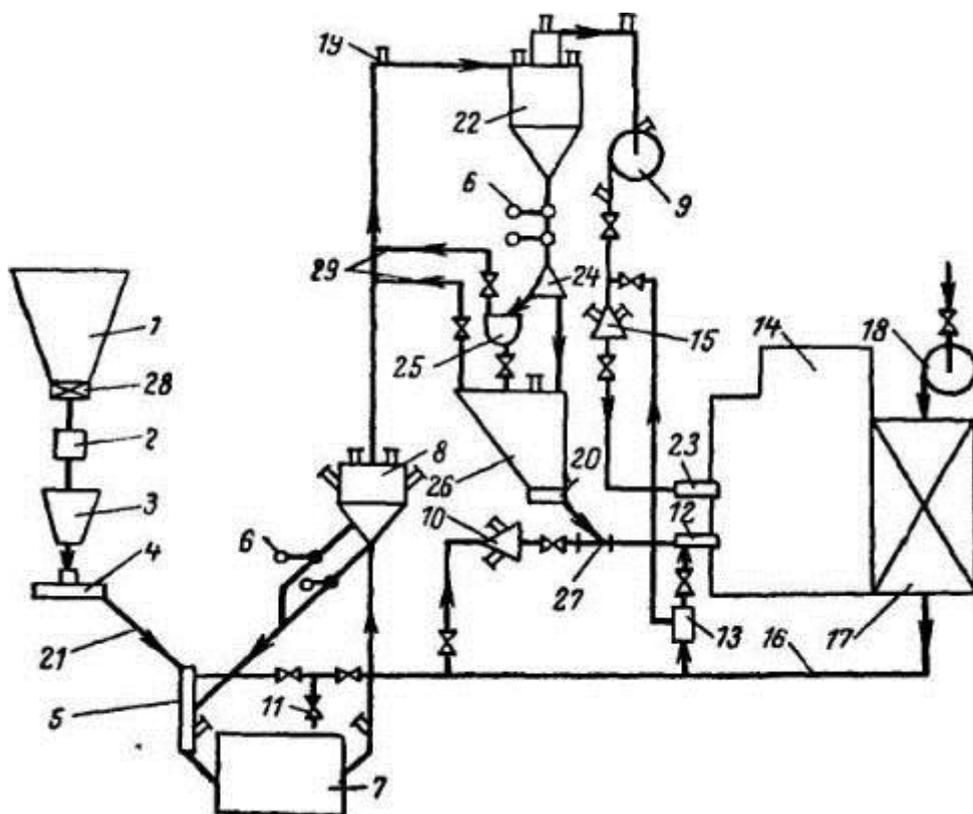


Рисунок 1- Индивидуальная схема приготовления с пылевым бункером
 1-бункер концентрата; 2-автовесы, 3-весовой бункер, 4-питатель концентрата;
 5-устройство для нисходящей сушки; 6-мигалка, 7-мельница; 8-сепаратор; 9-мельничный вентилятор; 10-короб первичного воздуха, 11-клапан присадки холодного воздуха; 12-горелка; 13-короб вторичного воздуха; 14-котел, 15-короб сбросного воздуха; 16-воздухопровод горячего воздуха; 17-воздухоподогреватель; 18-дутьевой вентилятор; 19-взрывной клапан; 20 -питатель пыли, 21-течка сырого угля; 22-циклон; 23-сбросная горелка; 24-перекидной шибер; 25-шнек; 26-бункер пыли; 27-смеситель; 28-отсекающий шибер; 29-трубопровод влагоотсоса.

По сравнению со схемой с прямым вдуванием схемы с промежуточным бункером обладают следующими преимуществами:

- 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.

Недостатками схем пылеприготовления с промежуточным бункером пыли являются большие первоначальные затраты в связи с увеличением габаритов здания пылеприготовительного устройства и появлением добавочных элементов оборудования: циклонов, промежуточного бункера, питателей пыли, пылевых шнеков и т. п.

1.2 Шаровая барабанная мельница Ш-16

Шаровая барабанная мельница Ш-16 относится к классу тихоходных рудо-размольных мельниц. Барабан этой мельницы, делающий 15-25 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. Ш-16 это шаровая барабанная мельница с цилиндрическим барабаном, производительностью 16 т/ч.

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.

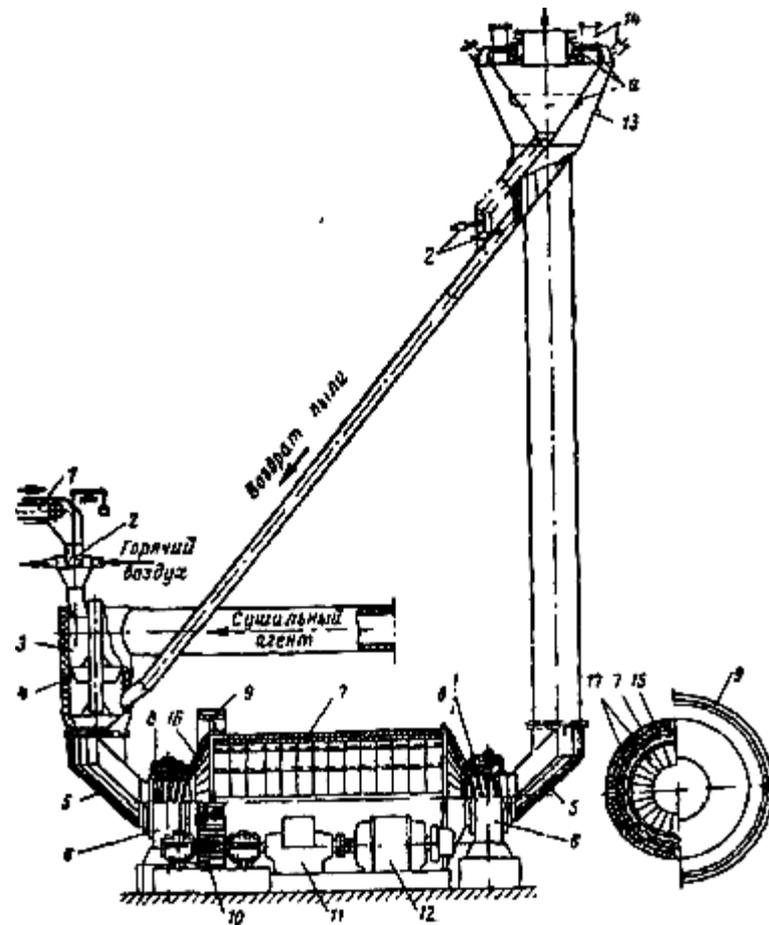


Рисунок 2-Шаровая барабанная мельница ШБМ 287/470

1-питатель сырого концентрата; 2-мигалка; 3-подсушивающая шахта; 4-выравнивающее кольцо; 5-патрубок; 6-подшипник; 7-корпус барабана; 8-цапфа; 9-большая шестерня; 10-малая шестерня; 11-редуктор; 12-электродвигатель; 13-сепаратор пыли; 14-предохранительный клапан; 15-прокладка; 16-днище; 17-броня.

Полые цапфы соединены с входным патрубком для ввода топлива и горячего сушильного агента и пылевыводящим выходным патрубком для вывода из мельницы размолотого продукта и отработавшего сушильного агента. В месте соединения цапф с патрубками имеется войлочное уплотнение с пружинным поджатием войлока по мере его истирания. Уплотнение предохраняет мельницу от пыления наружу и присосов холодного воздуха из окружающей среды. Корпус мельницы покоится на опорных (коренных) подшипниках скольжения, снабженных водяным и масляным охлаждением. Подшипники и другие узлы мельницы имеют жидкую принудительную смазку с центральной станции.

Кроме нее, имеется капельная смазка подшипников и главной зубчатой пары, состоящей из зубчатого венца и приводной шестерни.

Для уменьшения нагрева подшипников горячим сушильным агентом горизонтальный участок цапфы выполняют полым с воздушным зазором. Барабан мельницы, изготовленный из стальных листов толщиной от 18 до 25 мм. Изнутри, барабан выложен броневыми плитами из марганцовистой стали волнообразной формы, с глубиной порядка от 25 до 35 мм и шагом волн от 200 до 250 мм.

Для тепловой и звуковой изоляции мельницы между броневыми плитами и корпусом барабана прокладывается листовая асбест толщиной 10 мм, а с внешней стороны барабана - слой войлока толщиной от 40 до 70 мм, закрываемый стальными листами.

Барабан мельницы приводится во вращение от электродвигателя через редуктор и пару шестерен. Большая шестерня насаживается на барабан, малая – на вал редуктора. В барабан загружаются мелкие шары из марганцовистой стали диаметром от 25 до 60 мм. Степень заполнения объема цилиндрического барабана шарами составляет от 15 до 25% (оптимальное значение от 18 до 22%) при насыпном весе шаровой загрузки около 4,9 г/л'.

Размол в вентилируемой мельнице совмещается с сушкой при провеивании измельчаемой руды потоком сушильного агента, движущимся вдоль барабана, обеспечивающим также и перемещение измельчаемого материала по длине барабана и вывод из него пыли. Из условий надежной работы коренных подшипников мельницы температура сушильного агента перед ней не должна превышать 450° С.

В барабане происходит грубая первичная сепарация пыли. Крупные частицы при вращении барабана выпадают совместно с шарами на шаротопливный слой, а более мелкие частицы подхватываются отработавшим сушильным агентом и транспортируются им в центробежный сепаратор пыли воздушно-проходного типа. Не домолотые частицы (возврат) пыли выпадают в

сепараторе и по течке направляются во входной патрубок мельницы на дополнительное в ней измельчение, а готовая пыль с заданным фракционным составом выносится через верхний патрубок сепаратора. На течках возврата обычно устанавливают два мигалочных затвора, предотвращающие проскок в сепаратор горячего сушильного агента, который может вызвать недопустимое огрубление пыли, а в некоторых случаях - воспламенение и взрыв сухой пыли в сепараторе или в пылепроводе.

Для предотвращения отложений топлива во входном патрубке, а пыли в выходном патрубке мельницы, их устанавливают под углом 45° к горизонтали.

1.3 Шнековый питатель сырого концентрата

Шнековый питатель сырого концентрата (ШПСК) осуществляет загрузку концентрата из бункера 3 в течку 5, по которой концентрат транспортируется инертными газами в мельницу Ш-16.

Общий вид питателя приведен на рисунке 3.

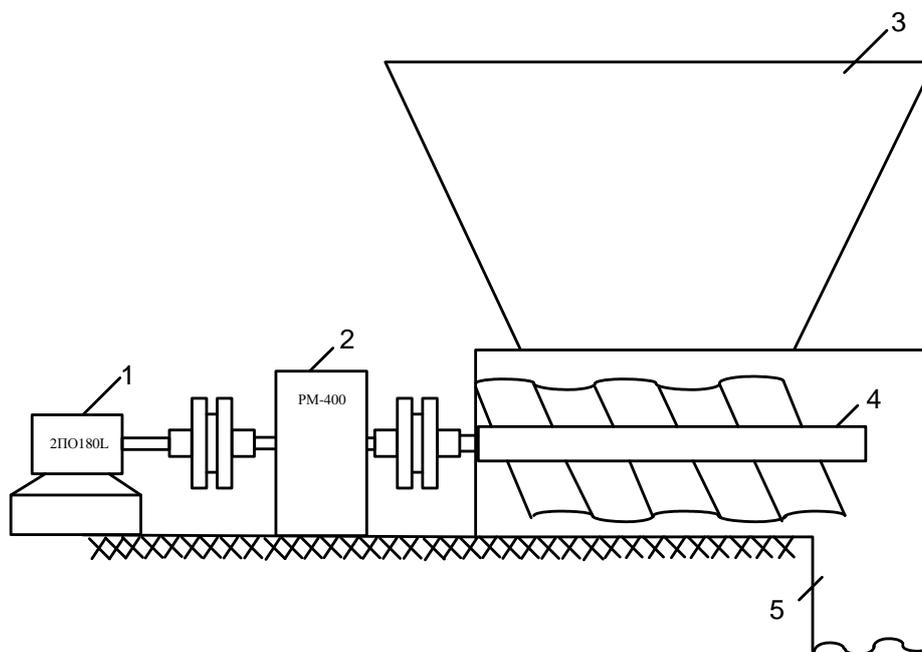


Рисунок 3- Общий вид питателя сырого концентрата

1-двигатель; 2-редуктор; 3-бункер сырого концентрата; 4-шнек; 5-течка сырого

концентрата.

1.4 Редуктор

В качестве редуктора установлен зубчатый редуктор серии РМ-400. Зубчатые редукторы это механизмы, служащие для понижения угловой скорости и увеличения крутящих моментов и выполняемые в виде отдельных агрегатов. При малых передаточных числах применяют одноступенчатые редукторы. Передаточные числа выбирают не более 8-10, обычно 6.3, во избежание увеличения габаритов. Основное распространение имеют двух ступенчатые редукторы, их потребность оценивается в 65%. Для них наиболее характерны передаточные числа 8-40. На рисунке 4 приведена схема применяемого редуктора типоразмера РМ-400.

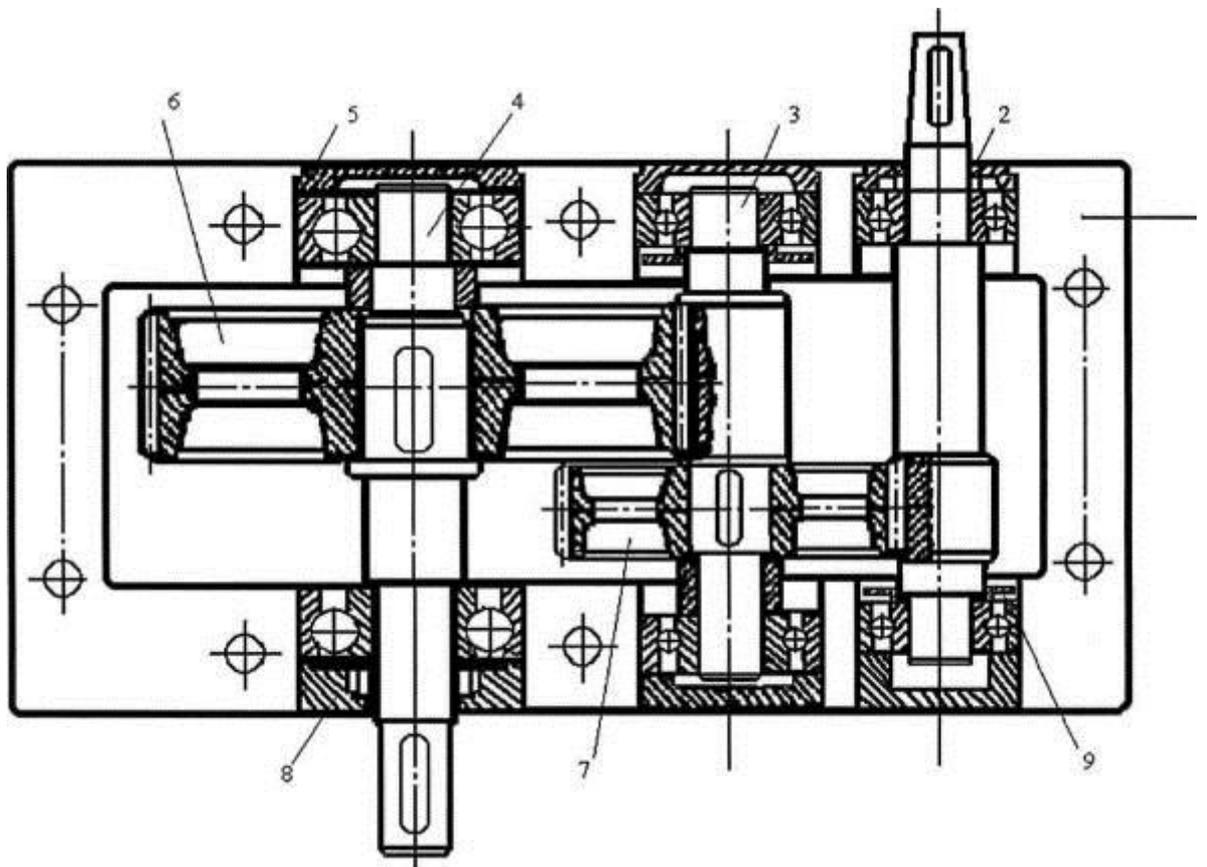


Рисунок 4 - Схема редуктора типоразмера РМ-400

1 - корпус редуктора; 2 - вал быстроходный; 3 - вал промежуточный; 4 - вал тихоходный; 5 - крышка врезная; 6 и 7- зубчатые колёса; 8 - уплотнение

лабиринтное; 9 – маслоотражатель

Редукторы серии РМ являются двухступенчатыми, с горизонтальным разъемом. Редуктор состоит из чугунного корпуса с крышкой в цилиндрической козубой передачи ($\rho^*=8^{\circ}06'34''$), размещенной внутри корпуса. Вал зубчатой передачи быстроходный 2, промежуточный 3 и тихоходный 4 - установлены в подшипниках качения и располагаются в одной плоскости по линии разъема корпуса и крышки 5.

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 7 сцепляется с быстроходным валом-шестерней. Шестерня промежуточного вала сцепляется с зубчатым колесом 6, насаженным на тихоходном валу. На выходной конец тихоходного вала редуктора насаживается муфта, соединяющая редуктор с машиной. Конец 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 9. 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 маслостойкой 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 121мм и массой 127 кг;
4. виток в количестве 10 штук и общей массой 112 кг;
5. цапфа общей длиной 395мм 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)

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

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

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

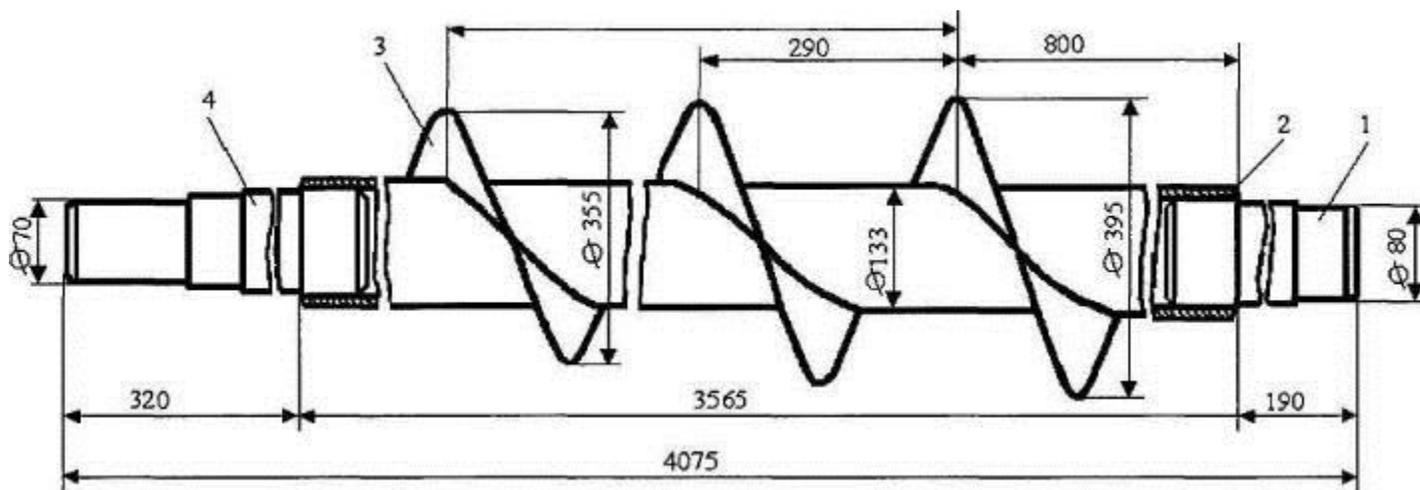


Рисунок 5- Шнек конический: 1-цапфа; 2-труба; 3-виток; 4-цапфа

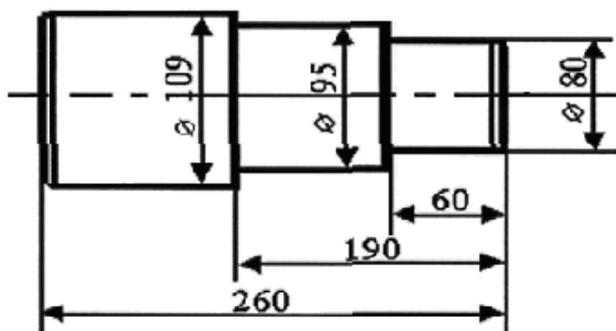


Рисунок 6 – Цапфа 1

Момент инерции для второй цапфы (рисунок 7)

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

где $m_2 = 19$ кг – масса первой цапфы;

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

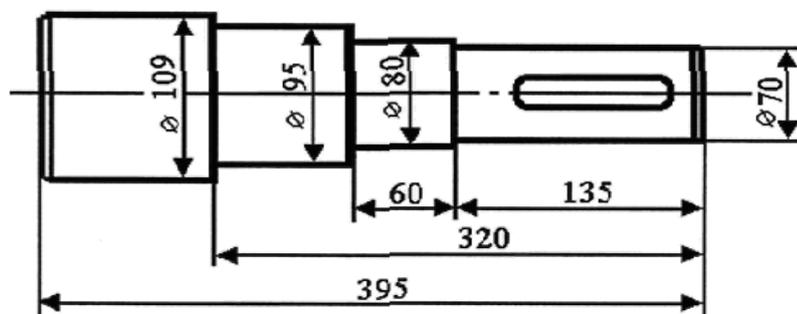


Рисунок 7 – Цапфа 2

Момент инерции витков шнека

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

где $m_3 = 112$ кг – масса витков шнека;

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

;

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

Момент инерции трубы (рисунок 8)

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

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.

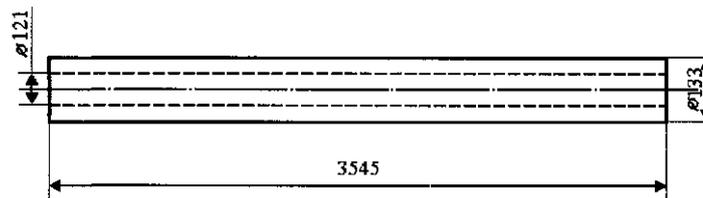


Рисунок 8 – Труба

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.

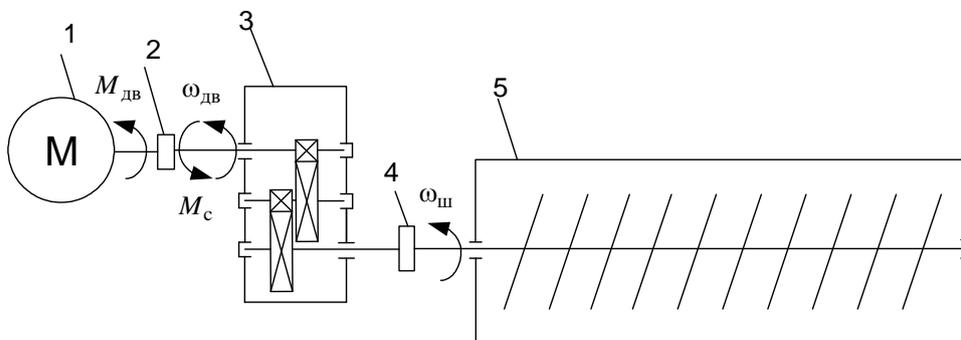


Рисунок 9-Кинематическая схема

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).

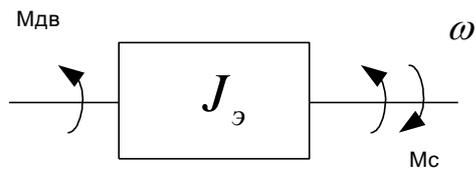


Рисунок 10 – Расчетная схема механической системы электропривода

Принятые обозначения:

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

M_c – момент сопротивления;

ω – 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

Выбор системы электропривода является одним из важных этапов процесса проектирования, так как от этого будет зависеть технико-экономический успех. Поэтому необходимо проанализировать различные системы электропривода и выбрать ту, которая в большей степени будет удовлетворять технологическим и экономическим требованиям, предъявленным к электроприводу.

Дадим сравнительный анализ приводов постоянного и переменного тока. Широко распространена так называемая «чёрно-белая» сравнительная оценка электродвигателей:

– электродвигатель постоянного тока сложен, требует интенсивного ухода и постоянного обслуживания, поэтому дороже и менее надёжен, кроме того, имеются трудности при исполнении двигателей со степенью защиты IP54;

– асинхронный электродвигатель прост, надёжен и не требует постоянного обслуживания, к тому же возможно исполнение любой степени защиты.

Подобные рассуждения верны в самых простейших случаях. Что касается регулируемых электроприводов, то всё обстоит гораздо сложнее и не так однозначно. Проведём сравнительную оценку электродвигателей, преобразователей и регулируемых приводов постоянного и переменного тока.

Коэффициент полезного действия (КПД) асинхронных двигателей больше, в зависимости от мощности, по сравнению с двигателями постоянного тока. Однако тепловые потери в электродвигателе постоянного тока не зависят от скорости вращения и легко удаляются при использовании принудительной вентиляции. Исторически двигатели постоянного тока для регулируемых приводов изготавливались с внутренней принудительной вентиляцией.

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).

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.

Зона регулирования скорости ослаблением поля для двигателей постоянного тока составляет 1: 3 для некомпенсированных машин и 1: 5 для компенсированных машин. 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. Типичные 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.

Сравнение характеристик двигателей позволяет сделать вывод о том, что двигатель постоянного тока имеет преимущества при продолжительном режиме работы на малых скоростях вращения, а также имеет значительно больший диапазон регулирования скорости вращения выше основной вообще и с постоянной мощностью в частности.

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.

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

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 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.

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.

Практически всегда можно выбрать электропривод постоянного или переменного тока, который будет удовлетворять предъявленным техническим требованиям. Но есть ряд требований, при решении которых электропривод постоянного тока имеет явные преимущества или имеет явные недостатки в сравнении с электроприводом переменного тока.

Несмотря на то, что асинхронные двигатели не требуют таких больших капиталовложений, как двигателя постоянного тока, в нашем случае следует отдать предпочтение именно электроприводу постоянного тока, так как:

- двигатели постоянного тока имеют большую перегрузочную способность;
- электрическое торможение у двигателей постоянного тока осуществляется проще и дает результаты лучше, чем у асинхронных двигателей;
- двигатели постоянного тока имеют более мягкую механическую характеристику, что дает более короткое время разгона механизма;
- аппаратная реализация и математическое описание законов управления электроприводов постоянного тока значительно проще, чем у приводов работающих на переменном токе;
- стоимость аппаратуры управления электроприводов переменного тока намного выше аппаратуры постоянного тока.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в теории и практике электроприводов переменного тока, массовым промышленным регулируемым электроприводом (РЭП) продолжает оставаться электропривод постоянного тока. РЭП постоянного тока представляют собой сложную электромеханическую систему, обеспечивающую регулирование скорости в заданном диапазоне с требуемой точностью и быстродействием. Важно отметить, что один из производителей приводов постоянного тока находится в Кемеровской области, а отечественных производителей приводов переменного тока нет. 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

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

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;

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

$\eta_{\text{ред}} = 0,8$ – КПД редуктора.

Требуемая максимальная скорость приводного двигателя питателя

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

Момент сопротивления, приведенный к валу двигателя

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

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

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. Машины этой серии предназначены для работы в широко регулируемых электроприводах. У машин серии 2П повышена перегрузочная способность, расширен 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 четырёх полюсными 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 $S_2 - S_g$. В машинах применены изоляционные материалы, по нагревостойкости соответствующие классу F ГОСТ 8865-70.

Структура условного обозначения

2П О 180 L УХЛ 4

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

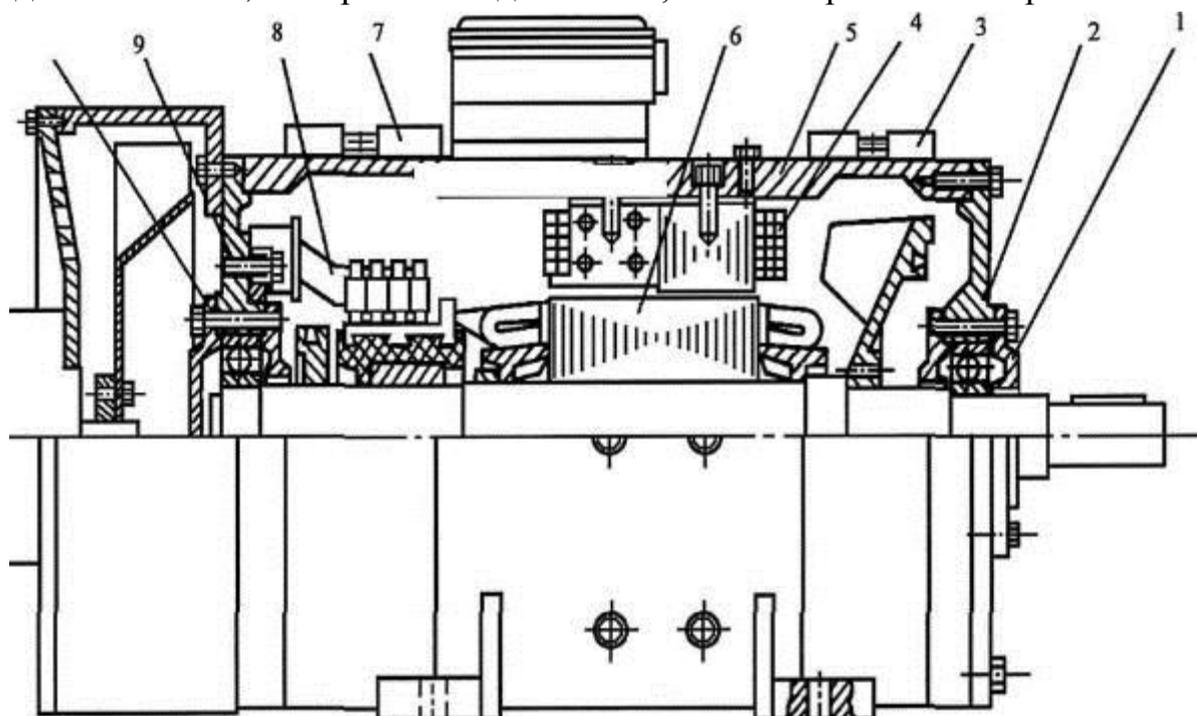
Наименование	Обозначение	Значение величины
Номинальная мощность	$P_{дв н}$	16 кВт
Номинальное напряжение	$U_{дв н}$	440 В
Номинальная частота вращения	$n_{дв н}$	2120 об/мин
КПД	$\eta_{дв}$	89.5%
Сопротивление обмотки якоря	$R_{оя}$	0,168 Ом
Сопротивление обмотки добавочных полюсов	$R_{дп}$	0,11 Ом
Индуктивность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

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

Рисунок 11-Машина постоянного тока 2ПО180ЛУХД4

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- электровентилятор.



Рассчитаем параметры электродвигателя.

Номинальная угловая скорость вращения

$$\omega_{\text{дв н}} = \frac{\pi}{30} \cdot n_{\text{дв н}} = \frac{\pi}{30} \cdot 2120 = 222 \text{ рад/с.}$$

Сопротивление цепи якоря горячее

$$R_{\text{дв гор}} = 1.24 \cdot (R_{\text{оя}} + R_{\text{дп}}) = 1.24 \cdot (0.168 + 0.11) = 0.345 \text{ Ом.}$$

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

$$c = \frac{U_{\text{дв н}} - I_{\text{дв н}} \cdot R_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв н}}} = \frac{440 - 40 \cdot 0.345}{222} = 1.92$$

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

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

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:

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

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 $I_{\text{дмакс}} = 2 \cdot I_{\text{дн}} = 2 \cdot 100 = 200 \text{ А}$.

Структура условного обозначения

Э	Ц	У	1	-	1	-	40	4	7	Е	УХЛ4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

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 $\alpha = 0^\circ$

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

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

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

Максимальное значение ЭДС преобразователя

$$E_{ТП\text{ макс}} = E_{d0} \cdot \cos\alpha_{\text{ мин}} = 513 \cdot \cos 10^\circ = 505 \text{ В},$$

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

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного преобразователя

$$k_{ТП\text{ макс}} = \frac{\pi \cdot k_{yo} \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{оп\text{ макс}}} = \frac{3.14 \cdot 1 \cdot 513}{10} = 161.16,$$

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

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

Электромагнитная постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{ТП}} = \frac{0.5}{m_{\text{В}} \cdot f_{\text{с}}} = \frac{0.5}{6 \cdot 50} = 0.00167 \text{ с},$$

где $m_{\text{В}} = 6$ – число фаз преобразователя;

$f_{\text{с}} = 50$ 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

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

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

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

$I_{\text{фрасч}} = k_{i2\text{ф}} \cdot k_i \cdot I_{\text{двн}} = 0.815 \cdot 1.1 \cdot 40 = 35.86$ А;

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

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

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

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

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

$$U_{\text{р}} = 410 \text{ В}; I_{\text{р}} = 41 \text{ А};$$

$$R_{p\phi} = 0.102 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; L_{p\phi} = 1.01 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Индуктивное сопротивление обмотки фазы реактора

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

Сопротивление, учитывающее коммутацию вентиляей

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

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 отдельном 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

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

где $k_{гр.макс} = \left(1 - \frac{\pi}{m_B} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m_B}\right) \cdot \sin 90^\circ = 0.093;$

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

Требуемая индуктивность добавочного дросселя

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

где $L_{тп} = 2 \cdot L_p = 2 \cdot 0.00101 = 0.00202 \text{ Гн}$ – 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 $E_d = E_{d0} \cdot \cos \alpha$, и переменную составляющую, состоящую из спектра гармоник.

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

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

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

$$L_{др2} = L_{кн2} - L_{ТП} - L_{ДВ} = 0.01655 - 0.00202 - 0.0066 = 7.93 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Выбираем реактор типа РТП-3 со следующими параметрами:

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

2.6 Расчетные параметры якорной цепи

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

Сопротивление якорной цепи

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

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

Индуктивность якорной цепи

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

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

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

Максимальное значение граничного тока зоны прерывистых токов для якорной цепи

$$I_{dгр\max} = \frac{1}{\omega_c} \cdot k_{гр\max} \cdot \frac{E_{d0}}{L_{яц}} = \frac{1}{314} \cdot 0.093 \cdot \frac{513}{0.01542} = 9.85 \text{ А.}$$

В относительных единицах

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

Максимальная величина пульсаций тока двигателя при угле управления

$\alpha = 90^\circ$ и номинальном токе нагрузки

$$P(1)\% = \frac{E_{d(1)\text{макс}} \cdot 100}{m_B \cdot \omega_c \cdot I_{\text{дв н}} \cdot L_{\text{яц}}} = \frac{124,4 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 40 \cdot 0,01542} = 10,7\% .$$

Полученные результаты можно считать удовлетворительными.

Электромеханическая постоянная времени привода

$$T_M = \frac{J_\ominus \cdot R_{\text{яц}}}{c^2} = \frac{0,278 \cdot 0,793}{1,92^2} = 0,06 \text{ с},$$

где $J_\ominus = J_{\text{дв}} + k \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{ш.пр}} = 0,23 + 0,2 \cdot 0,23 + 0,0182 = 0,278 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ –

эквивалентный момент инерции электропривода;

$k = 0,2$ – коэффициент, учитывающий момент инерции соединительной муфты и первой шестерни редуктора.

Отношение

$$\frac{T_M}{T_{\text{яц}}} = \frac{0,06}{0,0194} = 3,09 .$$

2.7 Проверка области существования электромеханических характеристик электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода (замкнутой системы), ограниченная значением $\omega = \omega_{\text{ЭПмакс}}$ и зависимостью $\pm I_{\text{доп}}(\omega)$, должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой системы преобразователь-двигатель. Последняя, в свою очередь, ограничена предельными характеристиками, соответствующими работе проводящей группы вентиля в режиме предельного инвертирования, а в выпрямительном режиме – работе при минимальном угле управления. Поскольку проектируемый электропривод неререверсивный, 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 $\omega = \omega_{\text{ЭП макс}}, I = I_{\text{ДВ Н}}$.

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

$$\alpha_{\text{мин}} = \arccos \frac{c \cdot \omega_{\text{ЭП макс}} + I_{\text{ДВ Н}} \cdot R_{\text{яц}}}{k_{uc} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{1.92 \cdot 209.4 + 40 \cdot 0.793}{0.85 \cdot 513} = \arccos(1.05).$$

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

Максимальный угол управления из условия безопасного инвертирования

$$\alpha_{\text{макс}} = \arccos \left(\frac{2 \cdot R_{\text{тп}} \cdot I_{\text{ДВ макс}}}{k_{uc} \cdot E_{d0}} - \cos \delta \right) = \arccos \left(\frac{2 \cdot 0.374 \cdot 120}{0.85 \cdot 513} - \cos 6^\circ \right) = 142^\circ.$$

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

$$\omega(I) = \frac{1}{c} (k_{uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - I \cdot R_{\text{яц}}) = \frac{1}{1.92} (0.85 \cdot 513 \cdot \cos 10^\circ - 0.793 \cdot I).$$

Результаты расчетов сведены при $k_{uc} = 1$ сведены в таблицу 2, при $k_{uc} = 0.85$ – в таблицу 3.

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

ω , рад/с	263	246,63	213
I , А	0	40	120

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

ω , 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.

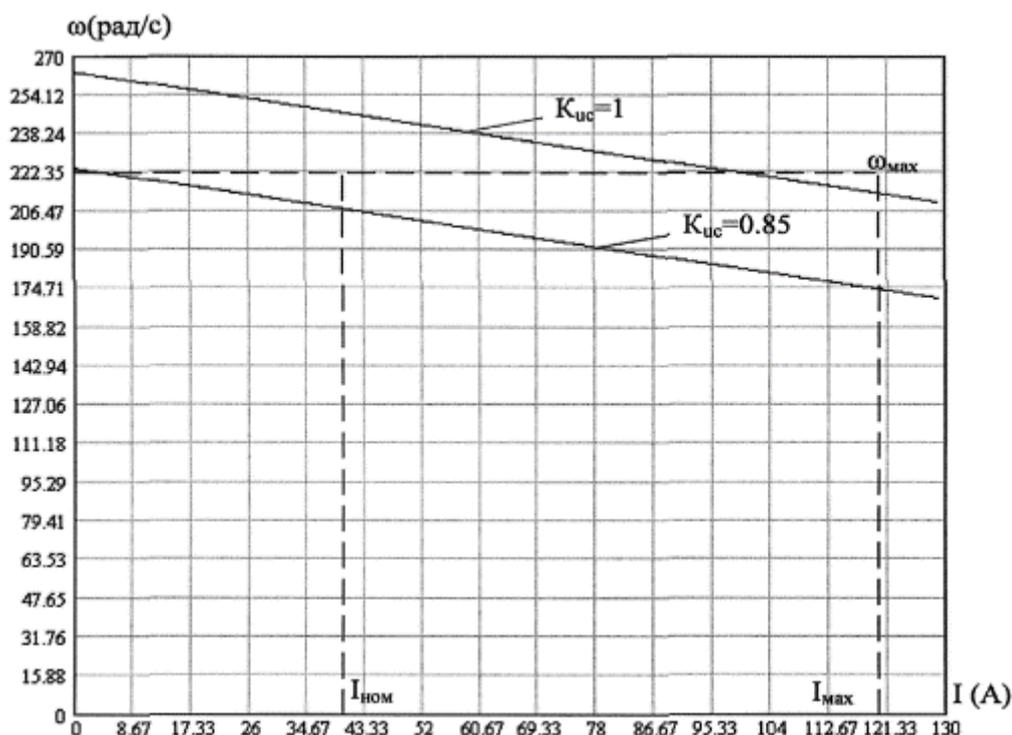


Рисунок 12-Электромеханические характеристики

Анализ электромеханических характеристик показывает, что привод с непосредственным подключением к сети обеспечивает заданную максимальную скорость $\omega = \omega_{\text{эп макс}}$ 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 дроселями.

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \cdot R_{яц} - \Delta U_\epsilon}{c},$$

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

α – угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

ΔU_ϵ – 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:

$$\alpha(\omega) = \arccos \left(\frac{\omega \cdot c + I_d \cdot R_{яц} + \Delta U_\epsilon}{E_{d0}} \right).$$

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

$$\omega(I) = \frac{E_{d0} \cdot \cos(\alpha(\omega)) - I \cdot R_{яц} - \Delta U_\epsilon}{c}.$$

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол α . Появление зоны прерывистого тока 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 α 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:

$$\theta_0(\alpha) = \frac{180}{\pi} \cdot \left(\alpha(\omega) + \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_s} \right) \right).$$

Значение ЭДС в относительных единицах в зависимости от угла управления α в зоне прерывистых токов:

$$e(\alpha) = \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{\sin\left(\left(\theta_0(\alpha) - \theta\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \sin\left(\left(\theta_0(\alpha) + \lambda - \theta\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}{1 - e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}$$

где угол $\lambda = \frac{2 \cdot 180}{m_s} = 60$ град – угол проводимости тиристорov;

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

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega_0 \cdot L_{яц}}{R_{яц}}\right) \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(\alpha) = \frac{m_s}{2 \cdot \pi} \left(\cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left(\left(\lambda + \theta_0(\alpha)\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot e_{zp}(\alpha) \right),$$

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

$$\omega(\alpha) = e(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right) - \Delta U_s}{c},$$

$$I(\alpha) = i(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right)}{R_{яц}}.$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристорov α (в диапазоне 0...180) и угол проводимости λ (0...60), то получим семейство

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

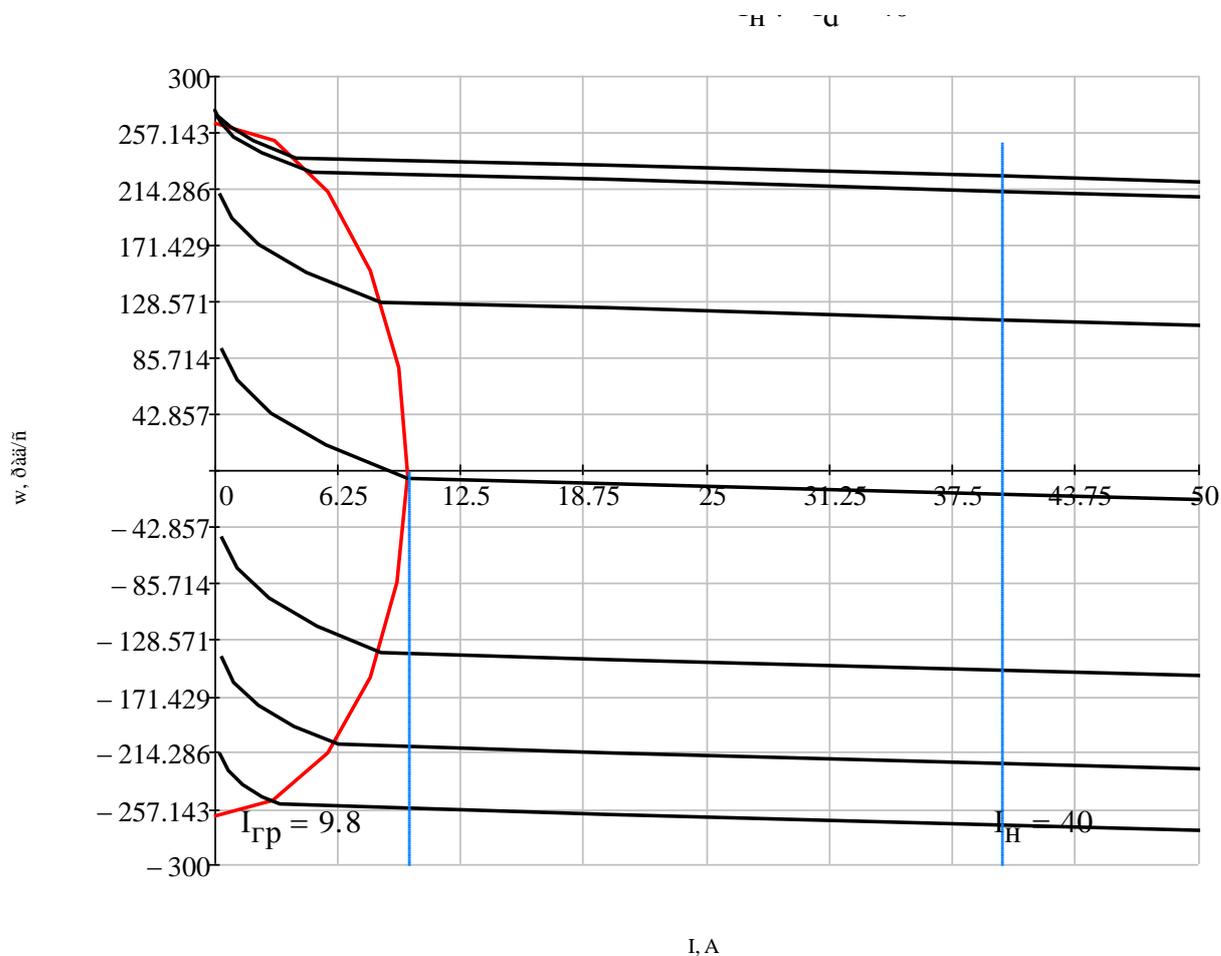


Рисунок 13 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с раздельным управлением

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

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.

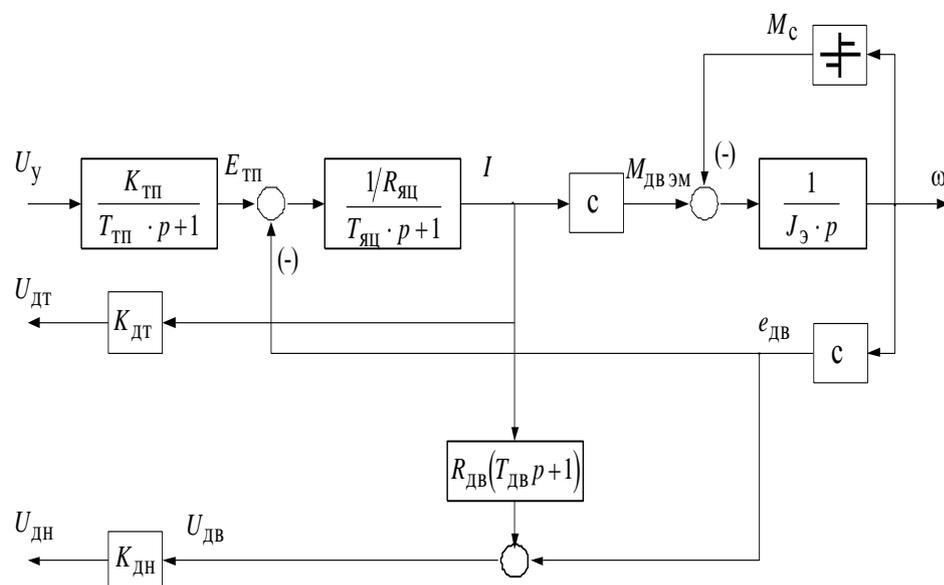


Рисунок 14 - Структурная схема силового канала тиристорного электропривода

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 5-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

$L_{дв}, \text{Гн}$	$T_{дв}, \text{с}$	C	$J_{э}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$K_{дтэ}, \text{В/А}$	$K_{дн}$
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) предна-

значена для преобразования постоянного управляющего напряжения в последовательность управляющих импульсов соответствующей фазы, подаваемых на управляющие электроды тиристорных 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°. 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 тиристорных вентильных комплектов и составляет для каждой фазы примерно 176°, 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 нуль-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 ПЭ 1 и ПЭ 2 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 α_{\min} , α_{\max} , $\alpha_{нач}$. Начальный угол регулирования ($\alpha_{нач}$) устанавливается 120° переменным резистором R62 при нулевых сигналах на входе УО. Угол α_{\min} равный $5-10^\circ$, устанавливается сменным резистором R73. Угол α_{\max} равный 160° , 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° . 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 $U_{рТВ}$, 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.

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 α_{\max} и блокируя управляющие импульсы.

Защита при коротких замыканиях осуществляется при помощи силового автомата и устройства, устанавливающего угол регулирования тиристоров в положении α_{\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.

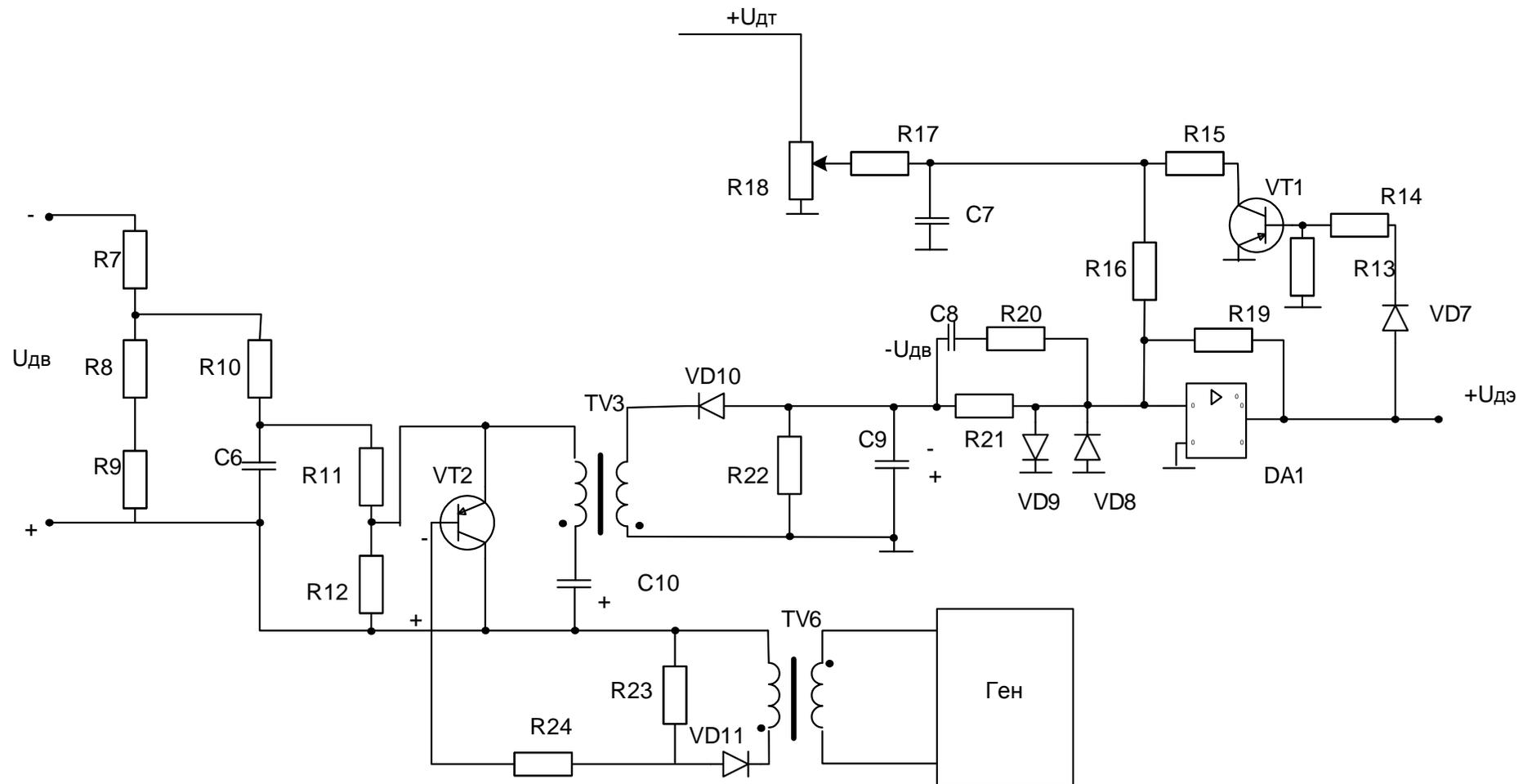


Рисунок 16-Схема датчика ЭДС

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 «О», 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 «О», 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 К1 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 К2, 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 ($n = n_{зад}$). Устройство соответствия скорости заданной ($n = n_{зад}$) 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 VD4H(свечение зеленое) включается при наличии напряжения питания (электропривод включен). Включение остальных индикаторов (свечение красное) сигнализирует о срабатывании защиты (см. таблицу 6).

Таблица 6-Работа сигнализации

Вид защиты	VD1H	VD2H	VD3H	VD4H	VD6H	VD7H	Примечание
1. Максимально токовая защита и от короткого замыкания		X					Знак «X» горящий светодиод
2. Отперегрева двигателя (от токовых перегрузок)		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 чередования	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 ± 15 В, не стабилизированным напряжением ± 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 ± 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.

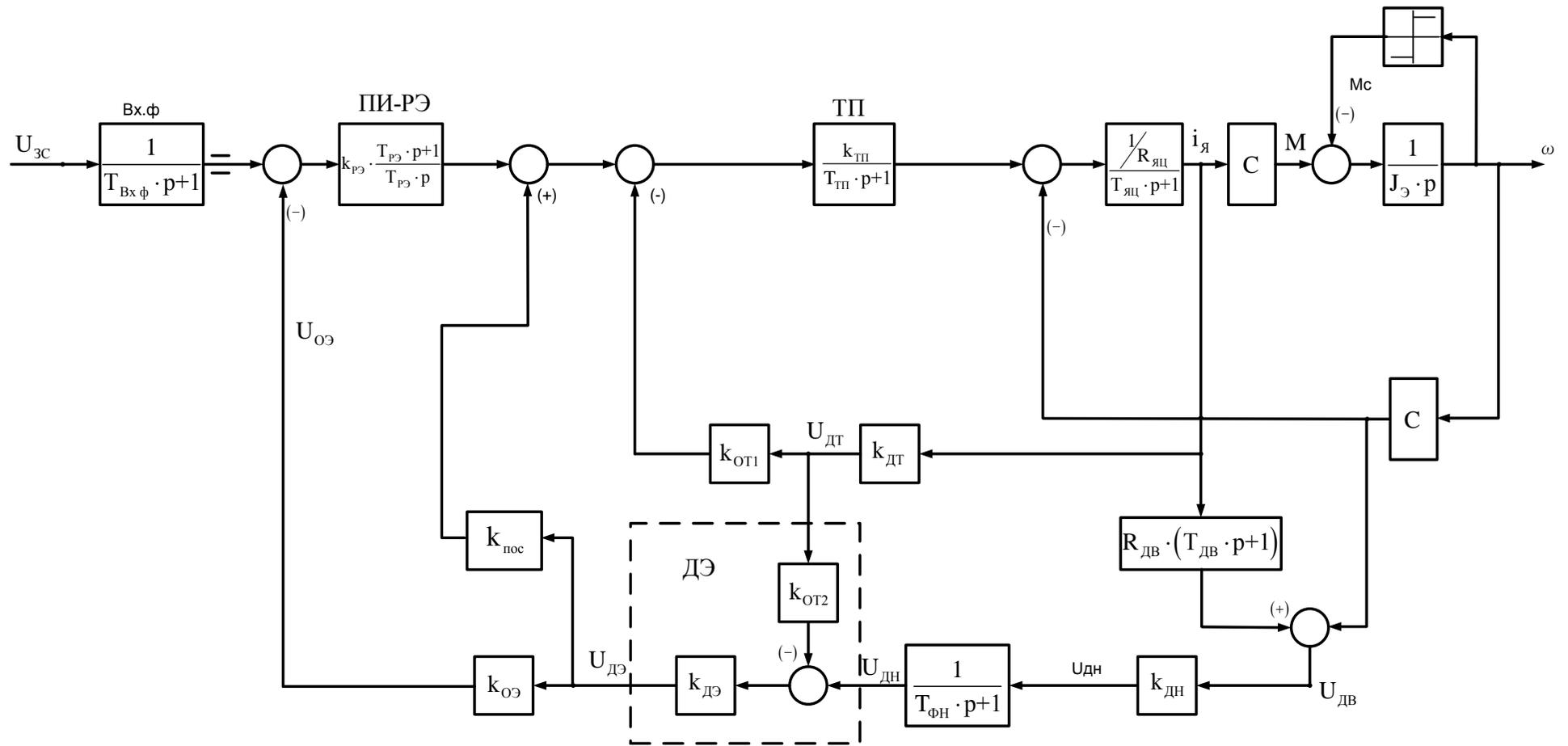


Рисунок 17 – Структурная схема линейризованной САУ РЭП

3.3 Оптимизация контура тока

Структурная схема контура тока приведена на рисунке 18.

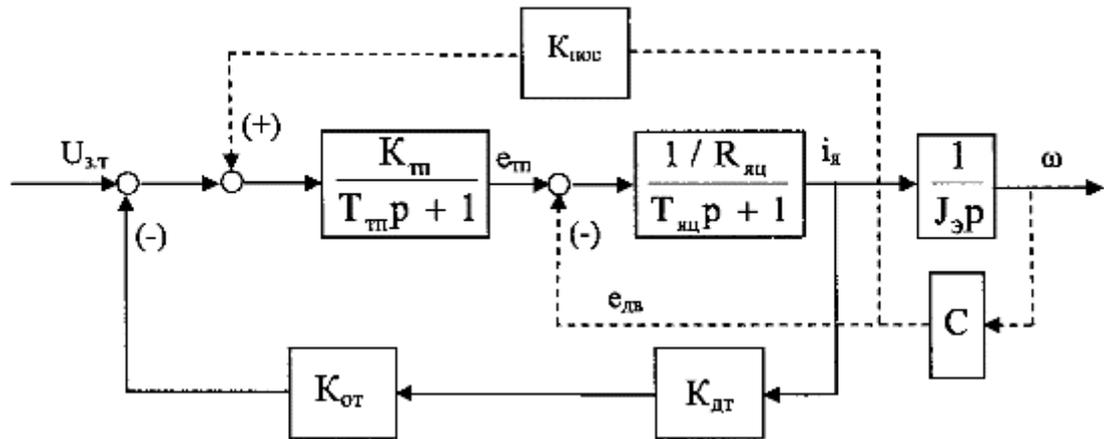


Рисунок 18-Структурная схема контура тока

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

$$K_{т} = \frac{R_{яц}}{K_{тп}} \cdot \left(T_{яц} \cdot \frac{\omega_p}{c_*} - 1 \right) = \frac{0,793}{161,16} \cdot \left(0,0194 \cdot \frac{62,8}{0,436} - 1 \right) = 0,00883,$$

где $\omega_p \leq \frac{c_*}{a_t \cdot T_{\mu т}} = \frac{0,436}{2 \cdot 0,00167} = 130,54 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - резонансная частота замкнутого

контура скорости электропривода, принимаем $\omega_p = 62,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ 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

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

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

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

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

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

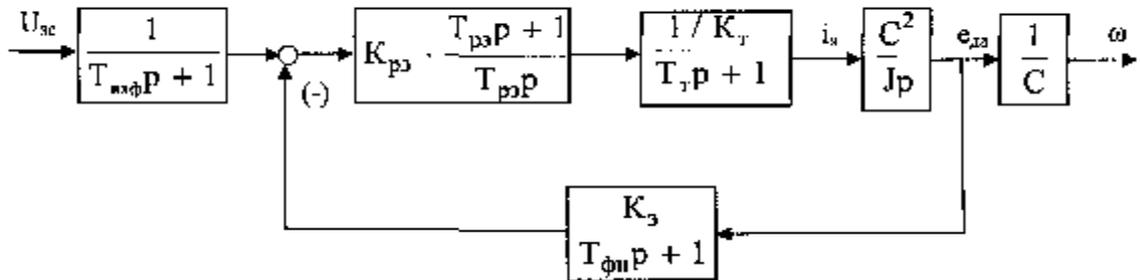


Рисунок 19-Структурная схема контура ЭДС

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

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

Коэффициент усиления регулятора

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

$$\text{где } K_{\Omega} = K_{\Omega\Omega} \cdot K_{дн} \cdot K_{д\Omega} = \frac{U_{зс \max}}{E_{зс \max}} = \frac{10}{426} = 0.0235;$$

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

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

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

Постоянная времени регулятора

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

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

Если при настройке контуров выполнены следующие условия:

$$K_{\varepsilon} = K_{\text{оэ}} \cdot K_{\text{дэ}} \cdot K_{\text{дн}};$$

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

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

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

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

Структурная схема рисунка 21 описывается следующей системой уравнений:

– в режиме стабилизации скорости

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

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 $U_{\text{рэ.доп}} = K_{\text{тэ}} \cdot I_{\text{эл.мах}}$;

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

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

где

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

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

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

$$\omega = \frac{E_{\text{дв}}}{c}.$$

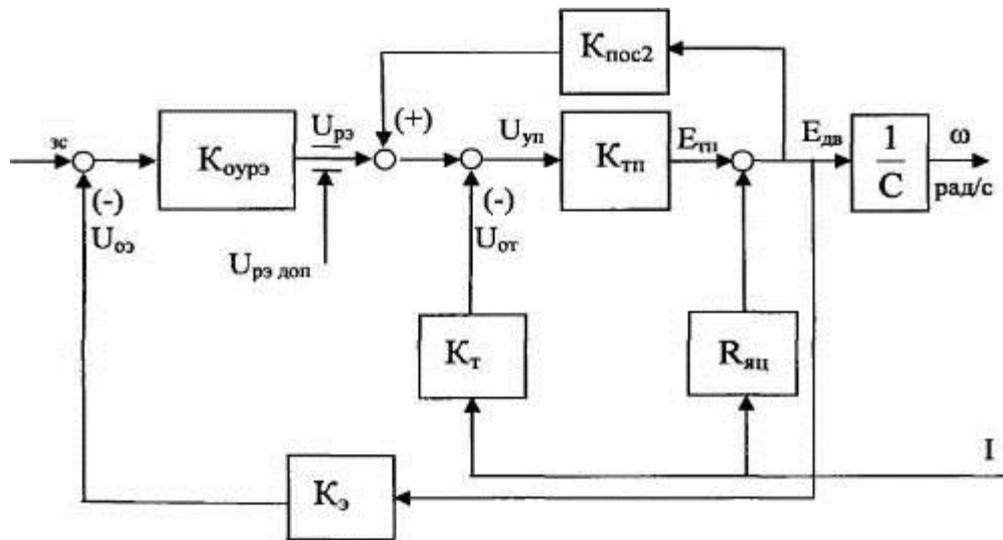


Рисунок 21-Структурная схема САУ электропривода в статическом режиме (преобразованная)

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

$$\omega(I) = \frac{U_{зс}}{c \cdot K_{э}} - \frac{1 + \frac{K_{т} \cdot K_{тп}}{R_{яц}}}{c \cdot K_{э} \cdot K_{оурэ} \cdot K_{тп}} \cdot \frac{R_{яц} \cdot I}{c}. \quad (7)$$

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

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

Если при настройке токоограничения коэффициент $K_{т}$, выбрать из условия

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

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 ω .

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 $I_{\partial g}$ от 0А до $I_{\partial g, max} = 120$ А, рассчитываем электромеханические характеристики электропривода по выражению

$$\omega(I) = \frac{U_{3c}}{1,92 \cdot 0,0235} - \frac{1 + \frac{0,00883 \cdot 161,16}{0,793}}{1,92 \cdot 0,0235 \cdot 20000 \cdot 161,16} \cdot \frac{0,793 \cdot I}{1,92} = \frac{U_{3c}}{0,04512} - 0,0000079 \cdot I.$$

Результаты расчета сводим в таблицу 7.

Таблица 7-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

$$\delta = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} \cdot 100\%.$$

Результаты расчета сводим в таблицу 8.

Таблица 8-Погрешность поддержания скорости двигателя

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

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

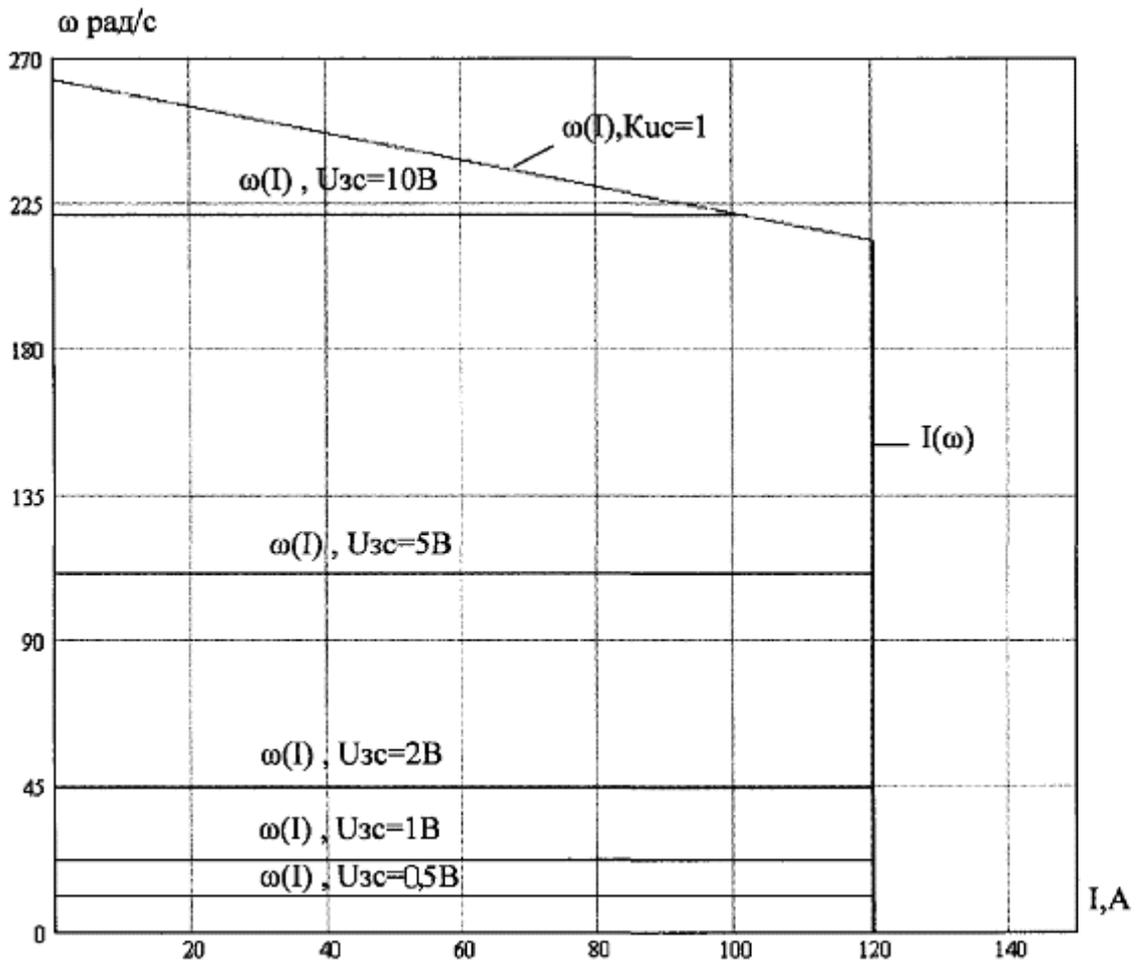


Рисунок 22-Статические характеристики электропривода

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

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

Максимальное значение ЭДС преобразователя определяется минимальным углом управления $\alpha_{мин} = 10^0$

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

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

Параметры структурной схемы нелинейной САУ ЭП сведены в таблицу 9.

Таблица 9 - Параметры структурной схемы нелинейной САУ ЭП

$T_{вхф}, с$	$K_{рэ}$	$T_{рэ}, с$	$T_1, с$	$T_2, с$	$K_{дэ}$	$K_{эо}$	$T_{фн}, с$	$K_{дн}$
0,038	0,845	0,1044	0,04	0,001	1	1,17	0,0191	0,02

Продолжение таблицы 9

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

Продолжение таблицы 9

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

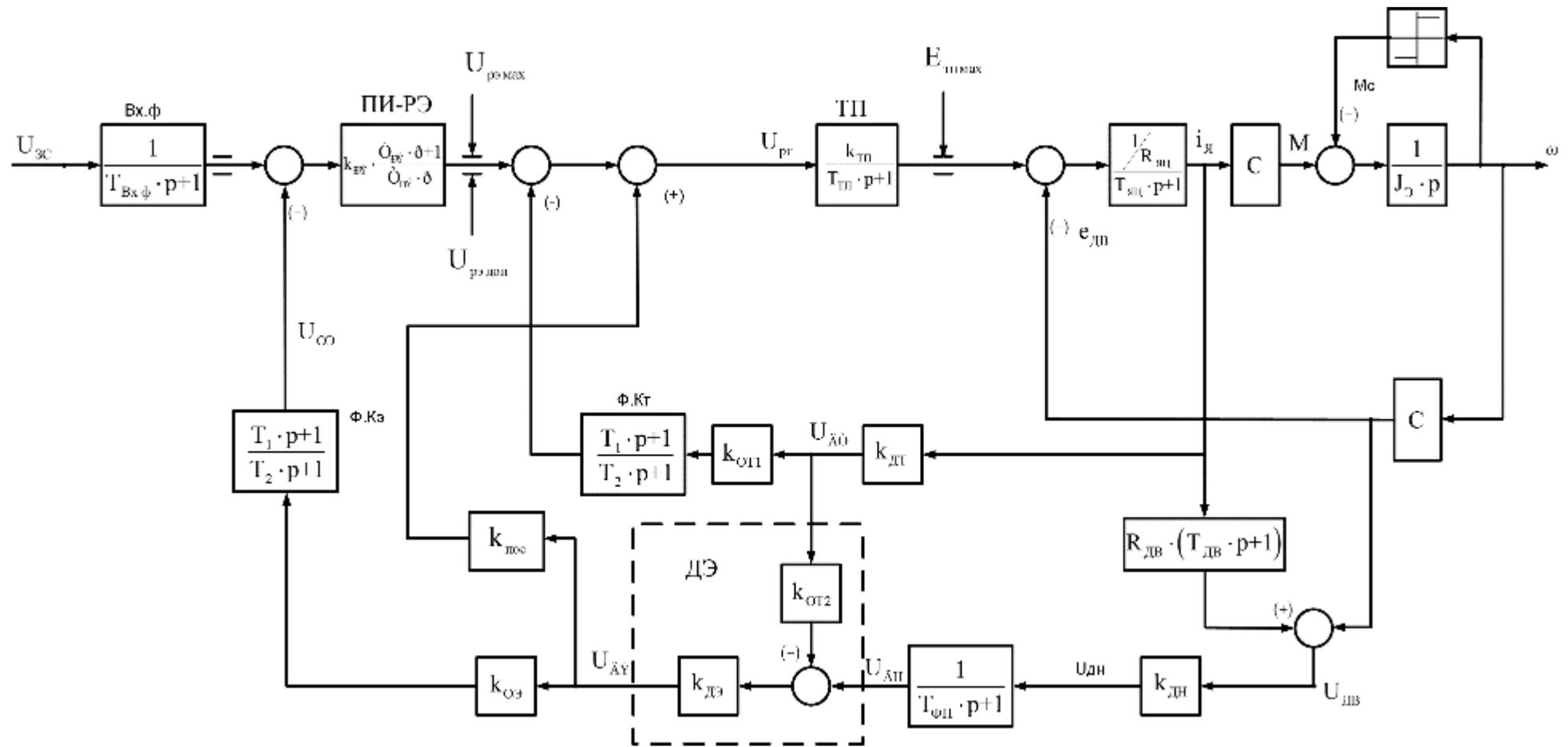


Рисунок 23-Структурная схема нелинейной САУ ЭП

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.

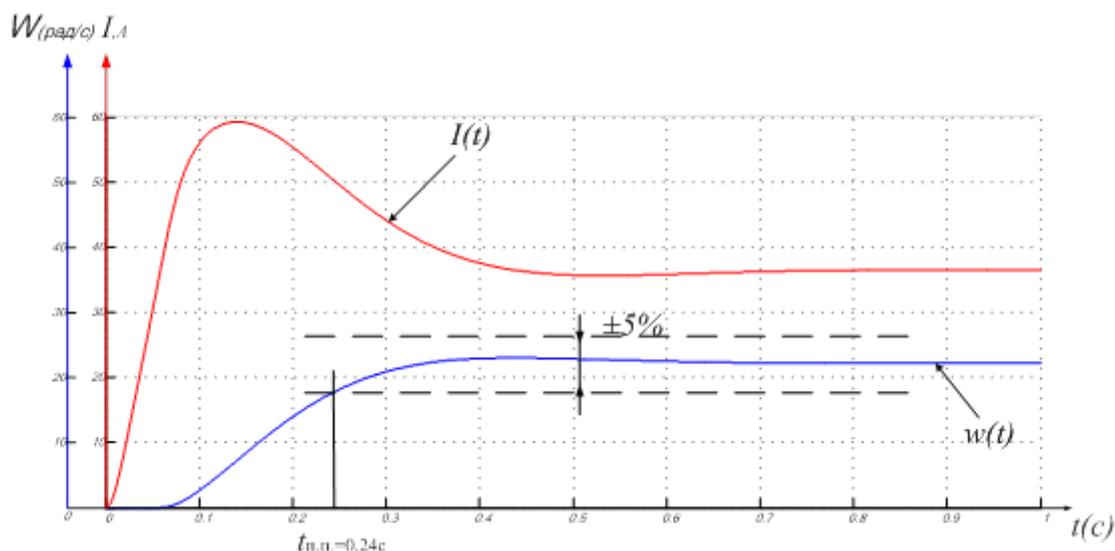


Рисунок 24- Переходные процессы при $M_c=70$ Н·м, $U_3=1$ В.

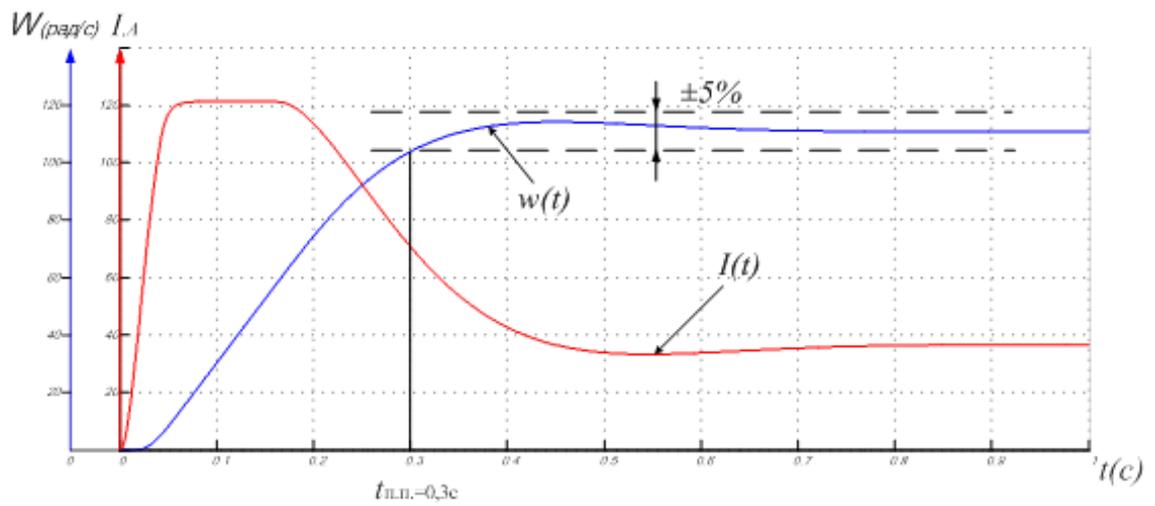


Рисунок 25- Переходные процессы при $M_c = 70 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $U_3 = 5 \text{ В}$.

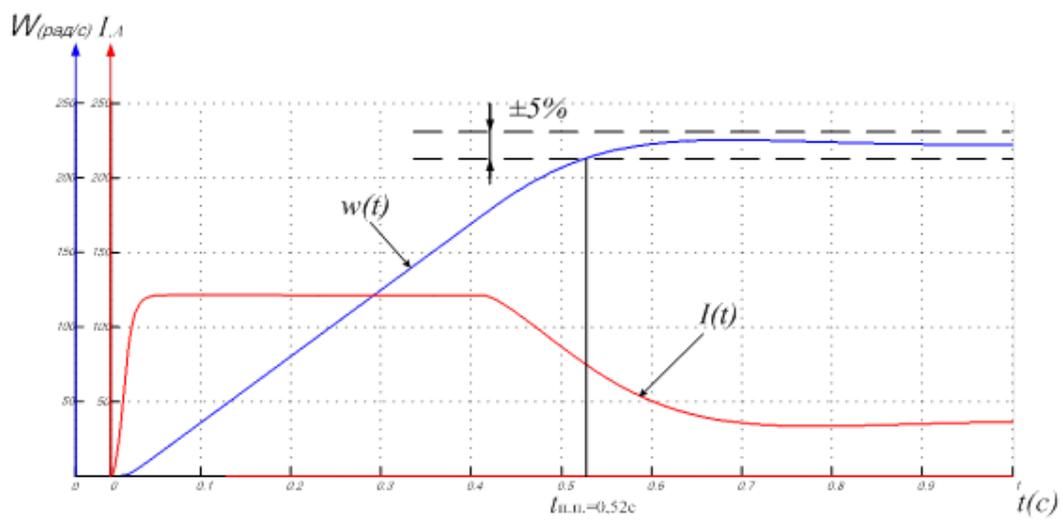


Рисунок 26- Переходные процессы при $M_c = 70 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $U_3 = 10 \text{ В}$.

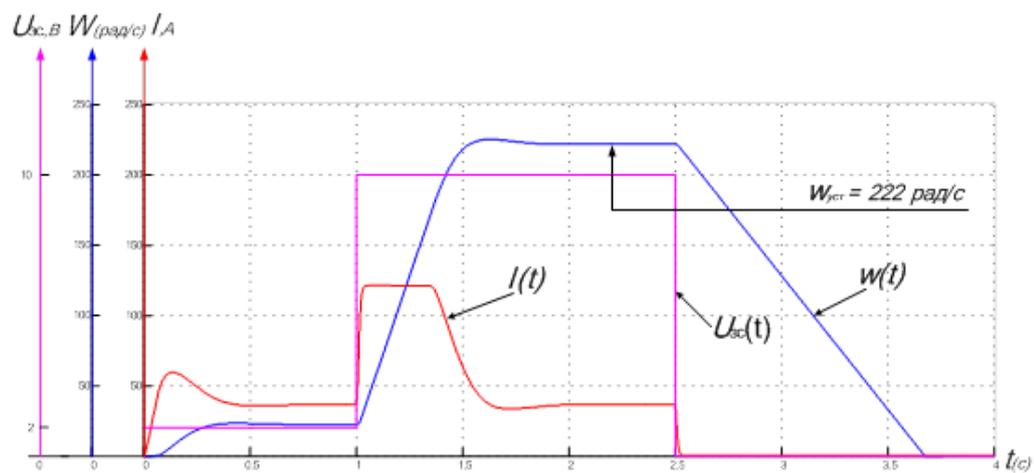


Рисунок 27- Переходные процессы при $M_c=70$ Н·м, пуск $U_3=1$ В разгон до $U_3=10$ В и останов $U_3=0$ В.

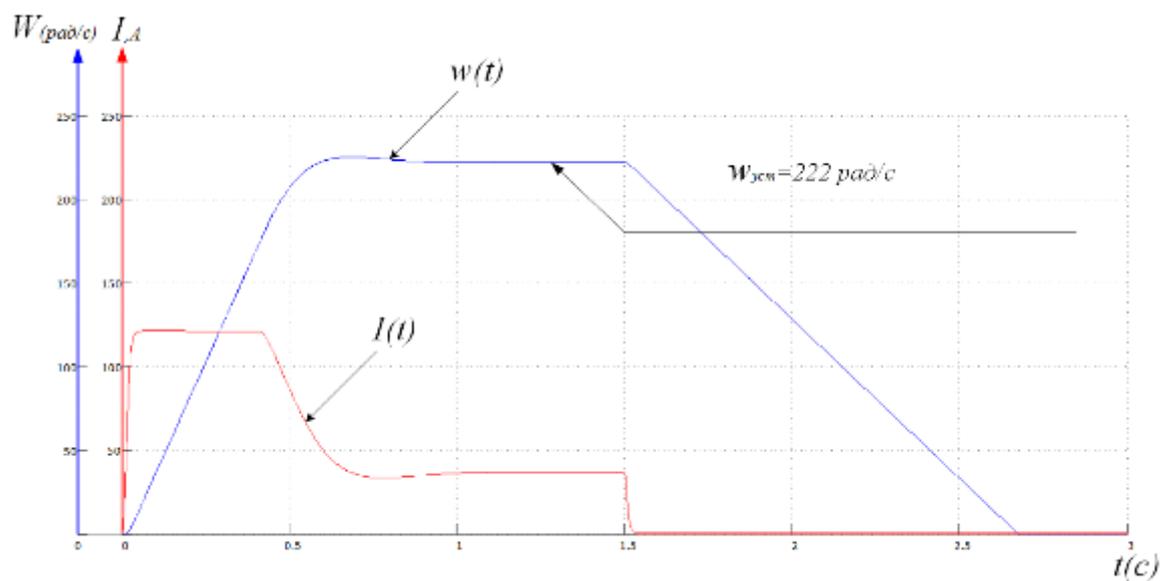


Рисунок 28- Переходные процессы при $M_c=70$ Н·м, пуск $U_3=10$ В и останов $U_3=0$ В.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5Г3А1	МулладжоновБобурХошимович

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

- *Стоимость ресурсов проектных и пуско-наладочных работ*
- *Нормы и нормативы расходования ресурсов*
- *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

- *Обоснование необходимости применения регулируемого электропривода питающего*
- *Структура пусконаладочных работ*
- *Определение сметной стоимости пусконаладочных работ*
- *Расчет эксплуатационных затрат*

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей)

График выполнения работ участниками ПНР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Мулладжонов Бобур Хошимович		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Обоснование необходимости применения регулируемого электропривода питателя

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматривается комплекс работ, которые необходимо провести, чтобы ввести в эксплуатацию электропривод питателя сырого концентрата.

Целью наладки электропривода на объекте является доведение электрооборудования до требований, предъявляемых технологическим процессом. Электрооборудование подвергается приемо-сдаточным испытаниям на заводе - изготовителе. Тем не менее, в процессе наладки на объекте, как правило, повторяется определённая часть этих испытаний, что вызвано следующими обстоятельствами:

- при транспортировании, хранении и монтаже возможны повреждения отдельных элементов электрооборудования;

- типовая программа приемо-сдаточных испытаний на заводе-изготовителе, как правило, не учитывают всех требований конкретного технологического механизма;

- при проведении приемо-сдаточных испытаний не все элементы могут быть испытаны при номинальных значениях нагрузок;

- некоторые крупногабаритные комплектующие устройства (трансформаторы, реакторы) непосредственно с этих заводов изготовителей, минуя испытательную станцию изготовителя комплектного электропривода.

Для наладки комплектных электроприводов на предприятии - изготовителе с целью их доводки до показателей, соответствующих техническим условиям, а так же при эксплуатации на промышленном объекте используется специальное контрольно-измерительное оборудование. При наладке используются вспомогательные элементы, встроенные в шкафы электропривода и дополнительные

устройства: электронно-лучевой осциллограф, мегомметр для контроля изоляции.

Целью экономической части выпускной квалификационной работы является определение сметы затрат на пуско-наладочные работы при вводе в эксплуатацию электропривода питателя сырого концентрата.

В связи с бурным развитием техники пуско-наладочные работы проводятся на всех, без исключения, предприятиях, где осуществляется реконструкция или модернизация действующего электрооборудования. Стоимость электрооборудования и его монтаж составляет большой удельный вес в общей стоимости развития производства.

Организация и планирование пуско-наладочных работ производится параллельно с модернизацией производства в соответствии с нормативными актами. Пусконаладочные работы при монтаже электроприводов и их установке являются завершающей стадией процесса строительно-монтажных работ. Высокий уровень механизации и автоматизации производства, повышенные требования к качеству увеличивают объём ПНР и выделяют их в самостоятельный вид деятельности. От качества проведения ПНР зависит бесперебойность работы, безопасность и экономичность обслуживания электрооборудования.

Финансирование ПНР осуществляется из ремонтного фонда предприятия, либо цеха. Средства выделяются на основе рассчитываемой калькуляции проведения ПНР.

Финансирование ПНР включает в себя следующие четыре этапа.

1. Предварительное изучение жизнеспособности проекта.
2. Разработка плана реализации проекта.
3. Организация финансирования.
4. Контроль выполнения плана и условий финансирования.

4.2 Структура пусконаладочных работ

Структуру пусконаладочных работ определяем исходя из сложности серийно-выпускаемых, освоенных промышленностью электротехнических устройств в соответствии с требованиями СНиП «Организация, производство и приемка работ», с требованиями «Правил устройства электроустановок», а также исходя из технических условий на изготовление и поставку электротехнических устройств.

Комплекс работ разобьем на этапы и определим в процентном соотношении объем выполнения работ по каждому этапу. Результаты сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Содержание этапов ПНР

%	Содержание этапов работы	Объем работы, %
1	Подготовительные работы	11
1.1	Организационная и инженерная подготовка работ	3
1.2	Изучение электрической части проекта и ознакомление с технической документацией предприятия-изготовителя оборудования	6
1.3	Подготовка приборов, приспособлений и комплекса форм протоколов	2
2	Монтаж электрооборудования	33
2.1	Внешний осмотр электрооборудования на предмет соответствия проекту	5
2.2	Установка электрооборудования, сборка силовых цепей электропривода	24
2.3	Сборка схемы сигнализации	4
3	Наладка электрооборудования под напряжением	34
3.1	Снятие и настройка необходимых характеристик и сопоставление их с расчетными данными проекта	11
3.2	Испытание и наладка системы РЭП питателя вхолостую	23

	и под нагрузкой	
4	Обеспечение на электроустановке электрических параметров и режимов, предусмотренных проектом, а также обеспечение устойчивой работы в эксплуатационных режимах	22
4.1	Оформление отчетной и приемно-сдаточной документации	11
4.2	Оформление в одном экземпляре протоколов пусконаладочных работ и испытаний электропривода	6
4.3	Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта, данных измерений, выполненных в процессе пусконаладочных работ	5
	Итого	100

При выборе состава и численности бригады следует руководствоваться условиями:

- бригада не должна быть специализированной, т.е. состоять из рабочих разных профессий, выполняющих технологически разные работы;
- работа сменная – в одну смену;
- техникой безопасности запрещено производить работы на оборудовании под напряжением менее чем двум человекам.

Из вышеперечисленного следует приблизительный состав бригады:

- Инженер-наладчик не ниже VI разряда (бригадир).
- Электрослесарь V разряда.
- Слесарь по ремонту оборудования V разряда.

Распределение работ среди членов бригады производится бригадиром в соответствии с профессиональной специализацией каждого. Продолжительность выполнения отдельных этапов работ определяется из профессионального опыта проведения аналогичных видов работ бригадой. Сроки исполнения и исполнители отдельных видов работ приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Сроки исполнения ПНР

№ этапа	Продолжительность этапа, часы	Исполнители
1	8	Весь состав бригады
1.1	2,5	Весь состав бригады
1.2	4	Весь состав бригады
1.3	1,5	Весь состав бригады
2	24	Весь состав бригады
2.1	3,5	Весь состав бригады
2.2	17,5	Весь состав бригады
2.3	3	Весь состав бригады
3	24	Инженер-наладчик, электрослесарь
3.1	8	Инженер-наладчик, электрослесарь
3.2	16	Инженер-наладчик, электрослесарь
4	16	Инженер-наладчик
4.1	8	Инженер-наладчик
4.2	4,5	Инженер-наладчик
4.3	3,5	Инженер-наладчик
Итого	72	

На основе вышеперечисленных этапов и сроков их исполнения построим линейный график ПНР представленный на рисунке 29.

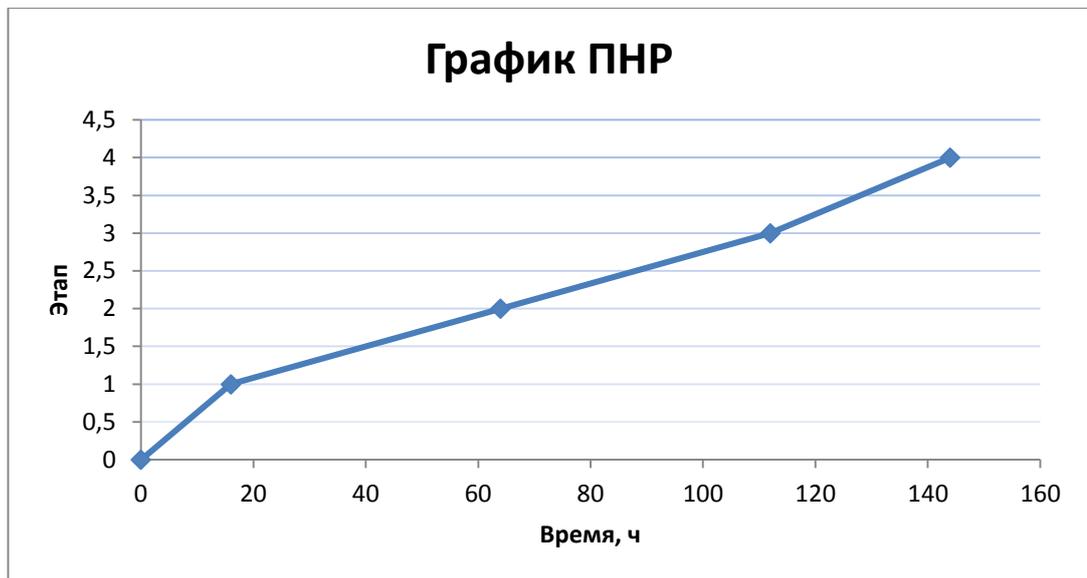


Рисунок 29 – График выполнения ПНР

4.3 Определение сметной стоимости пусконаладочных работ

Стоимость пусконаладочных работ для электропривода питателя включает в себя:

- Стоимость материалов;
- Основную заработную плату;
- Дополнительную заработную плату;
- Отчисления на социальные нужды;
- Накладные расходы;
- Прочие затраты.
-

Стоимость материалов необходимых для проведения пусконаладочных работ рассчитаем в таблице 9.

Таблица 9 – Стоимость материалов

№	Наименование	Единица измерения	Масса	Стоимость, руб.	
				За единицу	Всего
1	Лента ПВХ электроизоляционная	кг	0,1	300	30
2	Трубка ПВХ (5мм)	кг	0,1	440	44
3	Трубка ПВХ (10мм)	кг	0,05	584	29,2
4	Наконечник медный	шт.	12	9,6	115,2
	Итого				218,4

Стоимость комплектующих и оборудования, необходимых для проведения пусконаладочных работ, рассчитываем в таблице 10.

Таблица 10 – Стоимость комплектующих и оборудования

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.	
				За ед.	Всего
1	Комплектный электропривод ЭПУ1-1-4047ЕУХЛ4	шт.	1	51500	51500
2	Электродвигатель 2ПО180ЛУХЛ4	шт.	1	240600	240600
3	Автоматический выключатель А3716	шт.	1	4000	4000
4	Токоограничивающий реактор РТСТ-41-1.01	шт.	1	8000	8000
5	Кабель силовой КГХЛ 3×6×4	м	30	115	3450

6	Кабель контрольный КВВГ 14×1,5	м	15	106	1590
	Итого				309140

Цены на пусконаладочные работы содержат только основную заработную плату пусконаладочного персонала, рассчитанную на основе тарифных ставок и среднемесячных должностных окладов, без премий.

При выполнении пусконаладочных работ в условиях вредного производств к заработной плате применяются следующие поправочные коэффициенты.

- выполнение пусконаладочных работ с надбавкой в размере районного коэффициента – $K_1=1,3$;
- надбавка к ценам пусконаладочных работ при работающем оборудовании – $K_2=1,1$;
- надбавка к ценам пусконаладочных работ в установках находящихся под напряжением – $K_3=1,3$.

Заработная плата составит:

$$З = Т \cdot Ч \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где Т – тарифная ставка, руб.;

Ч – количество отработанного времени, час.

Затраты на основную заработную плату представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Основная заработная плата

Состав бригады	Разряд	Часовая ставка, руб.	Количество отработанных часов	Заработная плата, руб.
Инженер-наладчик	6	140	72	18738,72
Электрослесарь	5	124	72	16597,15
Слесарь	5	124	32	7376,51
Итого				42712,38

Дополнительная заработная плата производится на оплату отпусков за не проработанное время и составляет 15% от основной заработной платы:

$$Z_{дон} = 0,15 \times 3 = 0,15 \times 42712,38 = 6406,86 \text{ руб.}$$

Отчисления в социальные фонды составляет 30,2% от основной и дополнительной заработной платы:

$$O_{сф} = (3 + Z_{дон}) \times 0,302 = (42712,38 + 6406,86) \times 0,302 = 14735,77 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составляют 60% от основной заработной платы:

$$H = 3 \times 0,6 = 42712,38 \times 0,6 = 25627,43 \text{ руб.}$$

Прочие затраты составят 2% от основной заработной платы:

$$П = 3 \times 0,02 = 42712,38 \times 0,02 = 854,2 \text{ руб.}$$

Сметная стоимость на проведение пусконаладочных работ регулируемого электропривода питателя представлена в таблице 12.

Таблица 12 - Смета затрат на проведение ПНР

№ п/п	Статья затрат	Сумма, руб.
1	Материалы, оборудование и комплектующие	309358,4
3	Основная заработная плата	42712,38
4	Дополнительная заработная плата	6406,86
5	Отчисления в социальные фонды	14735,77
6	Накладные расходы	25627,43
7	Прочие расходы	854,2
8	Итого	399695,04

4.4. Расчет эксплуатационных затрат

Эксплуатационные затраты рассчитываются по изменяющимся статьям себестоимости, к ним относят: амортизационные отчисления, затраты на эксплуатацию и текущий ремонт.

4.4.1 Амортизационные отчисления

$$A_{год} = \frac{K \cdot H}{100\%}, \text{ руб.},$$

где К- капитальные затраты;

4.4.2 Затраты на эксплуатацию и текущий ремонт

$$З_{год} = \frac{K \cdot H_p}{100\%}, \text{ руб.},$$

где H_p - норма отчислений на эксплуатацию и текущий ремонт, H_p составляет 6% от стоимости оборудования, комплектующих и материалов ($H_p=6\%$)

Вывод:

В данном разделе были рассмотрены мероприятия необходимые для введения в эксплуатацию электропривода питателя сушильного барабана, определена сметная стоимость на пусконаладочные работы проводимые бригадой входящей в состав цеха.

Весь комплекс работ разбит на отдельные этапы и определено время выполнения каждого этапа пусконаладочных работ. Согласно полученным данным был построен линейный график проведения пусконаладочных работ, а также составлена сметная стоимость.

Затраты на ПНР составили – 399695,04 руб.

Эксплуатационные затраты составили – 71945,1 руб.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
3-5Г3А1	МулладжоновБобурХошимович

Школа	Уровень образования	Отделение	Направление/специальность
ИШЭ	Бакалавриат	ЭПЭО	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Электропривод шнекового питателя сырого концентрата - прибор рабочая зона - в цеху селекции и сушки Область применения электротехника</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	<i>Выявленные вредные факторы производственной среды: - шум, -загазованность, - движущиеся механизмы, - опасность ожога, - электробезопасность, - пожарная безопасностьФедеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический</i>
2. Экологическая безопасность:	<i>Воздействие на окружающую среду; в нашей работе вредных выбросов в атмосферу барабанные сушилки и аспирационные установки, предприятия не наносят вред окружающей среде и опасности общества.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Перечень возможных ЧС на объекте это пожар;разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;список ответственных лица исполнителей, пути и время выхода людей из аварийных и угрожаемых участков, указания по ликвидации последствий.оповещения людей об аварии на все участки цеха оператором пульта подаётся трёхкратный звуковой сигнал продолжительностью 10 секунд с интервалом между сигналами 5 секунд.</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<i>- общие правовые нормы согласно ТК РФ ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ.Оборудование производственное.</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	МулладжоновБобурХошимович		

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

ВВЕДЕНИЕ

Охрана труда в нашей стране является предметом постоянной заботы правительства. Полностью безопасных и безвредных производств не существует. Задача охраны труда - свести к минимуму вероятность поражения или заболевания работающих с одновременным обеспечением комфорта и максимальной производительностью труда. На предприятиях, расположенных в рассматриваемом районе, имеется ряд производственных процессов, которые обладают опасными и вредными производственными факторами.

Электротехнический персонал, обслуживающий электроустановки систем электроснабжения, должен быть обучен безопасным методам работы, и пройти проверку правил техники безопасности, а также должен уметь оказать доврачебную помощь пострадавшим от действия электрического тока и при других травмах.

Ранее в предыдущем разделе ВКР был произведен расчет электроприводашнекового питателя сырого концентрата.

Данный раздел ВКР посвящен выполнению анализа и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при ее выполнении. Произведен анализ вредных факторов таких как: шумообразование; монотонность трудового процесса, зрительное напряжение, механические опасности, такие как вращающиеся детали.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Вредные факторы

К вредным производственным факторам при наладке и эксплуатации электропривода относятся:

- Производственный шум – от работы различных механизмов, шум трансформатора, шум шнекового питателя:

Человеческий организм по-разному реагирует на шум разного уровня. Шумы уровня 70-90 дБ при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а более 100 дБ - к снижению слуха, вплоть до глухоты.

Уровень звука, излучаемый шнекового питателя в окружающую среду в контрольной точке и на рабочем месте, не должен превышать 80 дБА по ГОСТ 12.1.003.

Защита от шума в нормах СП 51.13330.2011.

Наушники шумоподавляющие, затычки (беруши) для ушей от шума.

- Загазованность – вредные газы, образовавшиеся в результате сушки концентрата, общецеховая загазованность.

Воздушная среда производственных помещений, в которой содержат вредные вещества в виде пыли и газов, оказывает непосредственное влияние на безопасность труда. Воздействие пыли и газов на организм человека зависит от их ядовитости (токсичности) и концентрации в воздухе производственных помещений, а также времени пребывания человека в этих помещениях.

Предельно допустимые концентрации токсичных веществ не должны превышать приведённых в ГОСТ 12.1.005-76 воздух рабочей зоны.

СП 60.13330.2012 Вентиляция и кондиционирование воздуха.

Вентиляция, аспирационные системы или же противогазы.

- Запыленность – образуется при транспортировке концентрата.

Действие пыли на кожный покров сводится в основном к механическому раздражению. Вследствие такого раздражения возникает небольшой зуд, неприятное ощущение, а при расчесах может появиться покраснение и некоторая припухлость кожного покрова, что свидетельствует о воспалительном процессе.

Пылинки могут проникать в поры потовых и сальных желез, закупоривая

их и тем самым затрудняя их функции. Это приводит к сухости кожного покрова, иногда появляются трещины, сыпи. Попавшие вместе с пылью микробы в закупоренных протоках сальных желез могут развиваться, вызывая гнойничковые заболевания кожи - пиодермии. Закупорка потовых желез пылью в условиях горячего цеха способствует уменьшению потоотделения и тем самым затрудняет терморегуляцию.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) пыли в воздухе не должны превышать по установленному ГОСТ 12.1.005-76. Воздух рабочей зоны.

Нормы для вентиляция воздуха СП 60.13330.2012.

Так же вентиляция, аспирационные системы или респираторы.

Ниже в таблице 13 приведены вредные производственные факторы.

Таблица 13 - Вредные производственные факторы

Фактор	Мероприятия
Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.	В корпусе сушки (где производится наладка ЭП) <i>СП 60.13330.2012</i> применяется приточная и вытяжная вентиляция. Концентрация производственной пыли на рабочих местах не превышает, установленной ПДК – 4,0 мг/м и составляет 3.2 мг/м.
Повышенный уровень шума на рабочих местах.	<i>ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ</i> На рабочих местах, где производится эксплуатация и наладка ЭП, уровень шума не превышает ПДУ – 85 дБ и составляет 40 дБ.
Отсутствие или недостаток естественного света, недостаток освещенности рабочей зоны.	В пролетах цеха – <i>СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03</i> . общее освещение, естественное и искусственное верхнее. При наладке используется дополнительное местное освещение. Общее освещение составляет 260 Люкс (по нормам не менее 200 Лк).

Опасные факторы

К опасным производственным факторам при наладке и эксплуатации электропривода относятся:

- Опасность поражения, наличие высокого напряжения, при работе сушильных барабанов
- Опасность ожога при загораниях и взрывах оборудования, загораниях горючих веществ, источниками огня, электрической дугой – при проведении сварочных работ и т.д.

В таблице 14 приведены опасные факторы, вид травм, которые можно получить под воздействием данных факторов, а также меры по предотвращению воздействия вредных факторов на организм человека.

Таблица 14 - Опасные факторы

Наименование фактора	Вид действия	Меры по предотвращению действия
Движущиеся части машин и механизмов	Механические повреждения	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
Высокая температура при работе	Термические ожоги	Внимательность в работе
Опасный уровень напряжения (до 1000В)	Электрические удары, электрические ожоги	ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТППрименение заземления ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ и зануления оборудования, наличие бирочной системы, соблюдение правил ТБ.

5.2 Экологическая безопасность

Воздействие на окружающую среду в моей ВКР работе вредных выбросов в атмосферу нет, барабанные сушилки и аспирационные установки существуют, предприятия не наносят вред окружающей среде и опасности общества.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

Находящиеся в эксплуатации электрозащитные средства защиты из резины следует хранить в специальных шкафах, на стеллажах, полках, и т.п. от-

дельно от инструмента. Они должны быть защищены от воздействия масел, бензина, кислот, щелочей и других разрушающих резину веществ, а также от прямого воздействия солнечных лучей и теплоизлучения нагревательных приборов (не ближе 1 метра от них). Средства защиты, изолирующие устройства и приспособления для работ под напряжением следует содержать в сухом, проветриваемом помещении.

Все находящиеся в эксплуатации электрозащитные средства и предохранительные пояса должны быть пронумерованы, за исключением касок защитных, диэлектрических ковров, изолирующих подставок, плакатов и знаков безопасности, защитных ограждений, штанг для переноса и выравнивания потенциала.

Наличие и состояние средств защиты должно проверяться осмотром периодически, но не реже 1 раза в 6 месяцев лицом, ответственным за их состояние с записью результатов осмотра в журнал. Средства защиты, выданные в индивидуальное пользование, также должны быть зарегистрированы в журнале. Средства защиты, кроме изолирующих подставок, диэлектрических ковров, плакатов и знаков безопасности, защитных ограждений, переносных заземлений, полученные для эксплуатации, должны быть проверены по нормам эксплуатационных испытаний.

Заземление

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции сетей и электроустановок предусмотрено заземление электроустановок и электроприёмников на общий контур заземления, образованный внешним контуром заземления и металлическими конструкциями сооружениями, где в качестве заземлителей используются фундаменты колонн. Так же предусматривается зануление отдельных электроприёмников с помощью четвертых жил питающих кабелей. Осветительная арматура заземляется отдельной жилой кабеля сечением равной с питающими жилами. Заземлению подлежат все кабельные конструкции.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Для защиты строительных конструкций галереи и транспортеров от разрушения при пожаре, в галереях предусмотрена стационарная водяная установка пожаротушения дренчерного типа с автоматической пожарной сигнализацией.

Пожарная сигнализация

В корпусе сушки предусмотрена автоматическая пожарная сигнализация с выносом сигналов на пульт пожарной сигнализации ППС-3, установленный в помещении оператора.

Датчики пожарной сигнализации установлены на конвейерных галереях, помещениях щитовых и камерах трансформаторов.

Первичные средства тушения пожара

Ниже в таблице 15 приведены типы огнетушителей, используемые для тушения пожара категории производства по пожарной опасности – Г, Д, В.

Таблица 15 - Огнетушители

Типогнетушителя	Марка	Время раб.,мин.	Виды материалов,подлежащих тушению
Углекислотный	ОУ-2	0,5	Различные вещества и материалы, а также электроустановки.
	ОУ-5	0,55	
	ОУ-8	0,66	
Порошковый	ОП-1	-	Легковоспламеняющиеся жидкости, твердые вещества, электроустановки

Допускается использование других видов огнетушителей имеющих сертификаты и соответствующих техническим условиям заводов-изготовителей. Тушение пенными огнетушителями не допускается.

Территории и помещение цеха укомплектованы необходимыми средствами пожаротушения в соответствии с действующими нормами.

Обслуживающий и ремонтный персонал должен знать места расположения первичных средств пожаротушения, в пределах рабочего места, пожарных кранов и уметь пользоваться ими.

Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний

к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке. Первичное обучение рабочих безопасным методам и приемам труда обучаются руководителями и специалистами обучения проводится в организациях (учебных центрах), имеющих соответствующую лицензию. Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае если по причинам сезонного и технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года.

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 $\omega = \omega_{\max}$ и $I = I_{\text{дон}}$, 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 $\Delta\omega=0,00135\%$, 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 0.87с .

В экономической части выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода питателя сырого концентрата. Составлена смета на проведение ПНР и построен график занятости исполнителей при выполнении пуско-наладочных работ, график выполнения пуско-наладочных работ и круговая диаграмма сметной стоимости на проведение пуско-наладочных работ.

В разделе безопасности и экологичности 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. Беспмятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде Л.: Химия, 1987.-50с.

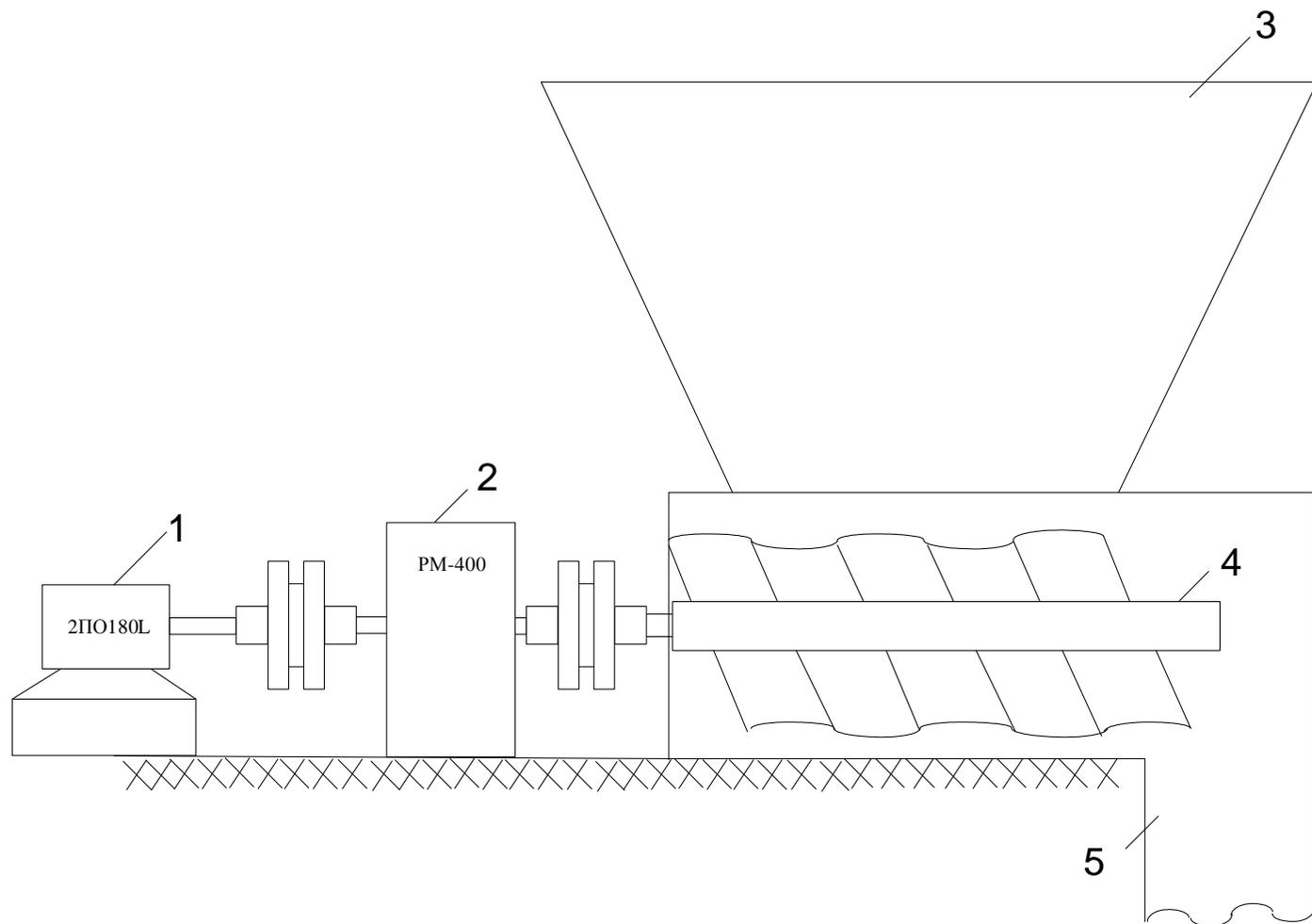
21. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков под редакцией В.Н. Соколова М: Стройиздат, 1992.-48с.

22. 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;

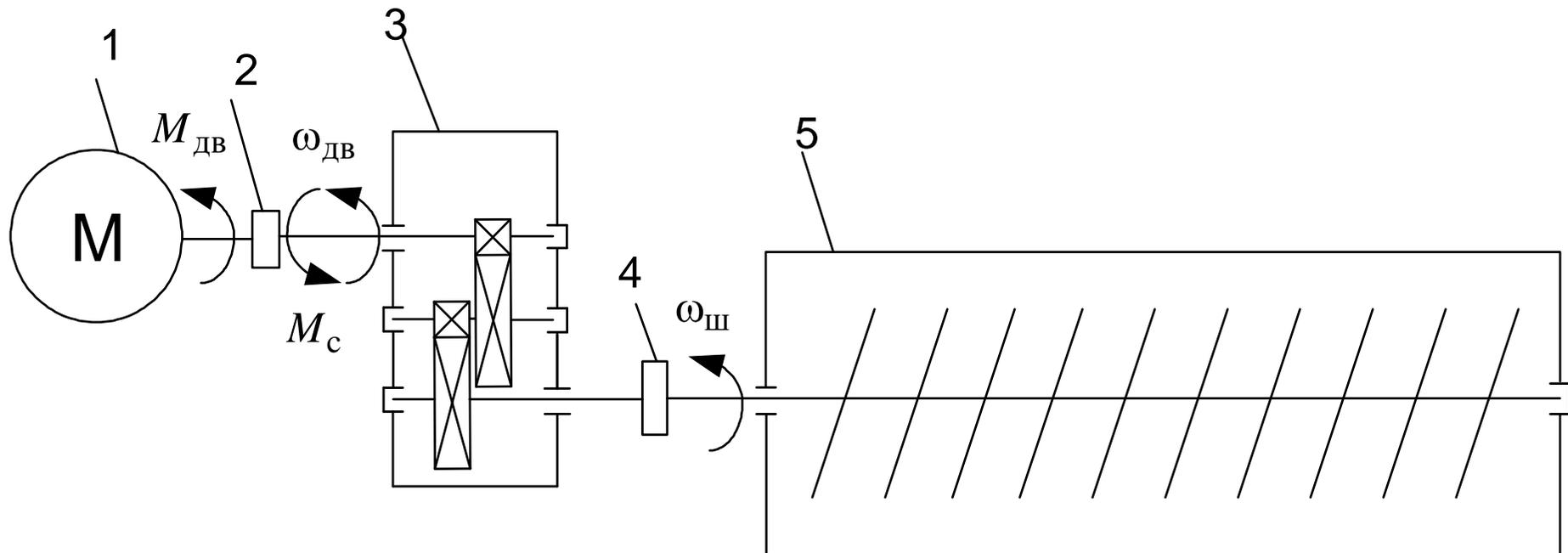
2-редуктор;

3-бункер сырого концентрата;

4-шнек;

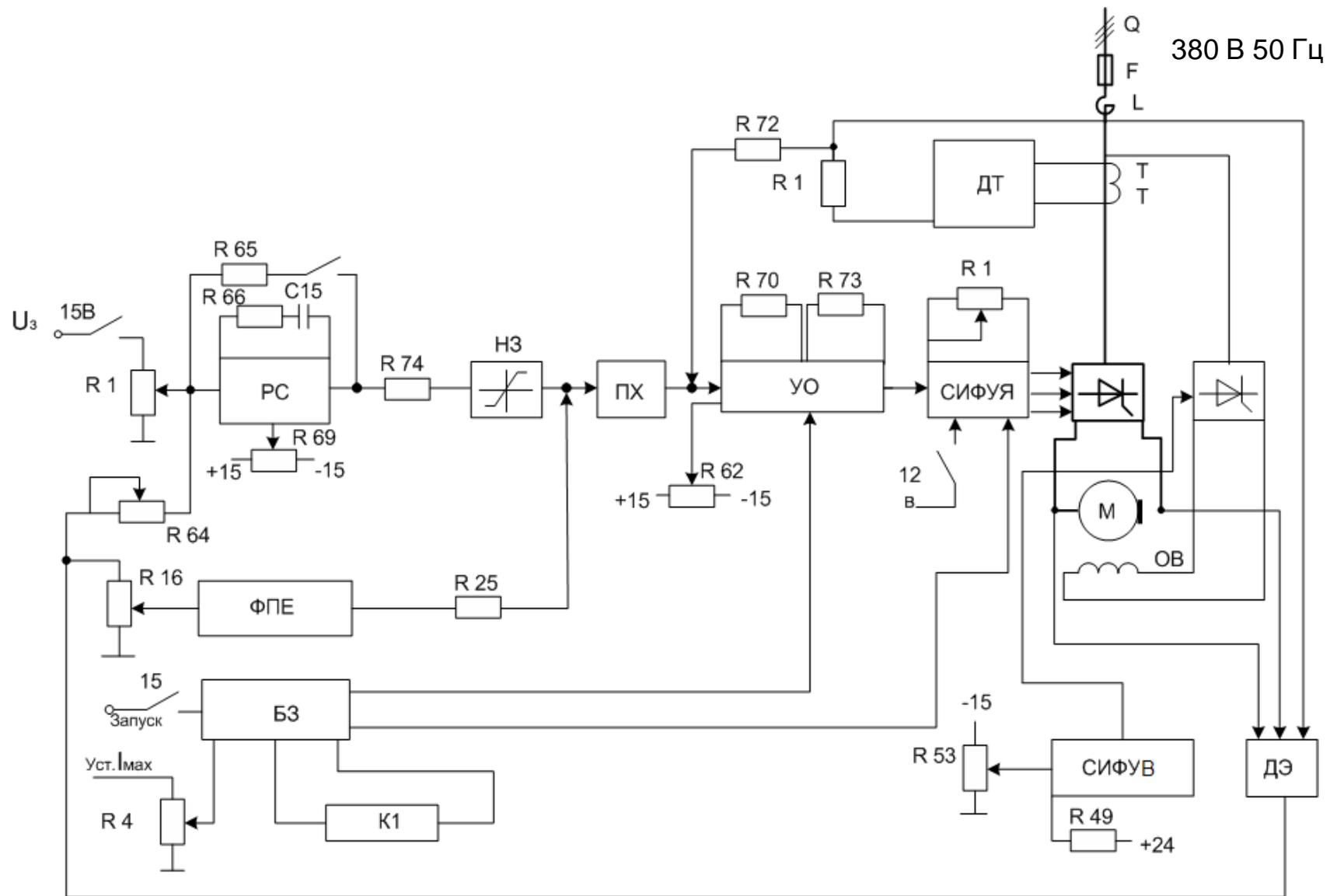
5-течка сырого концентрата.

Кинематическая схема механизма

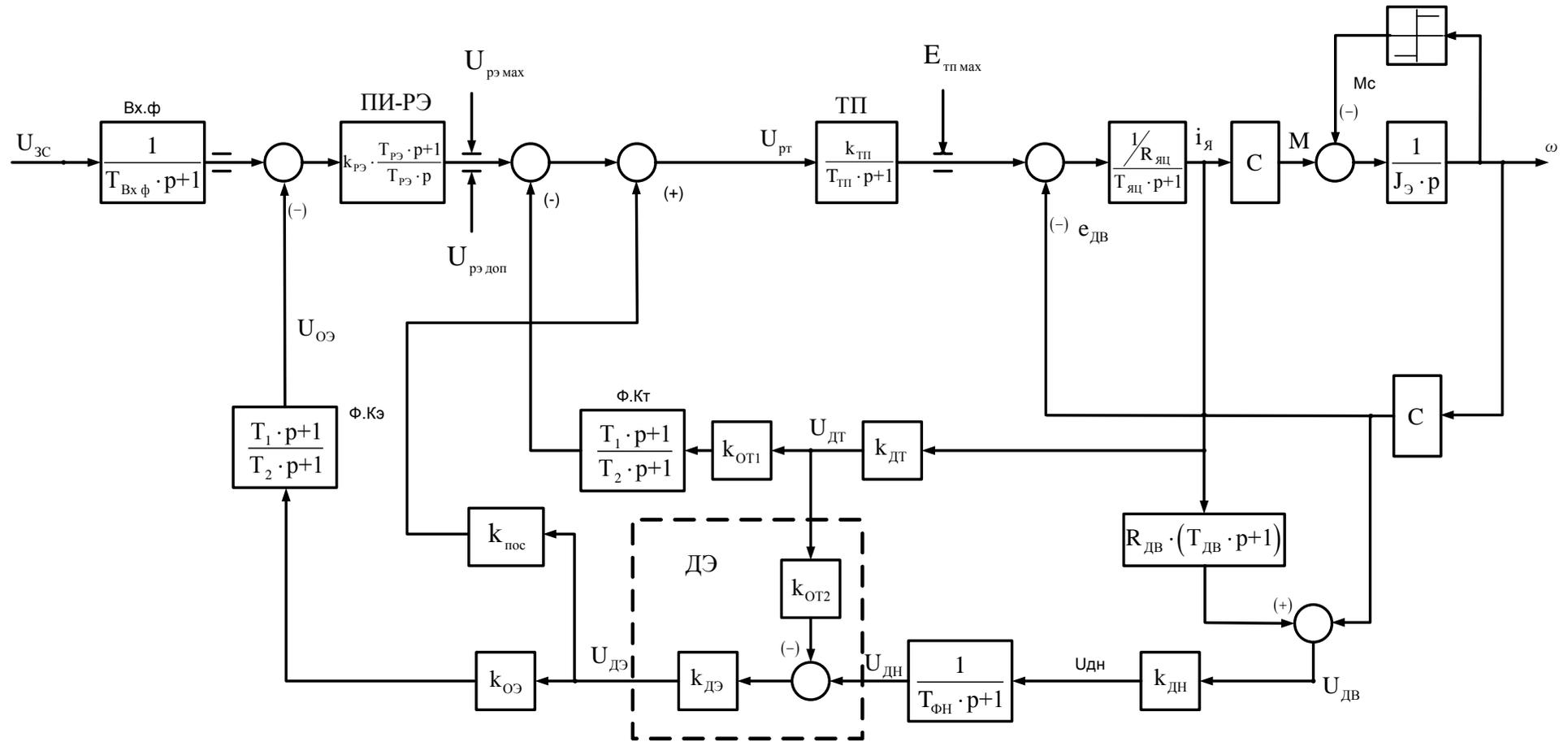


1-электродвигатель; 2,4-жёсткая муфта; 3 - редуктор ; 5 - шнек; $M_{дв}$ - вращающий момент, развиваемый приводным двигателем; M_c -момент сопротивления механизма; $\omega_{дв}$ и $\omega_{ш}$ -угловые скорости двигателя и шнека

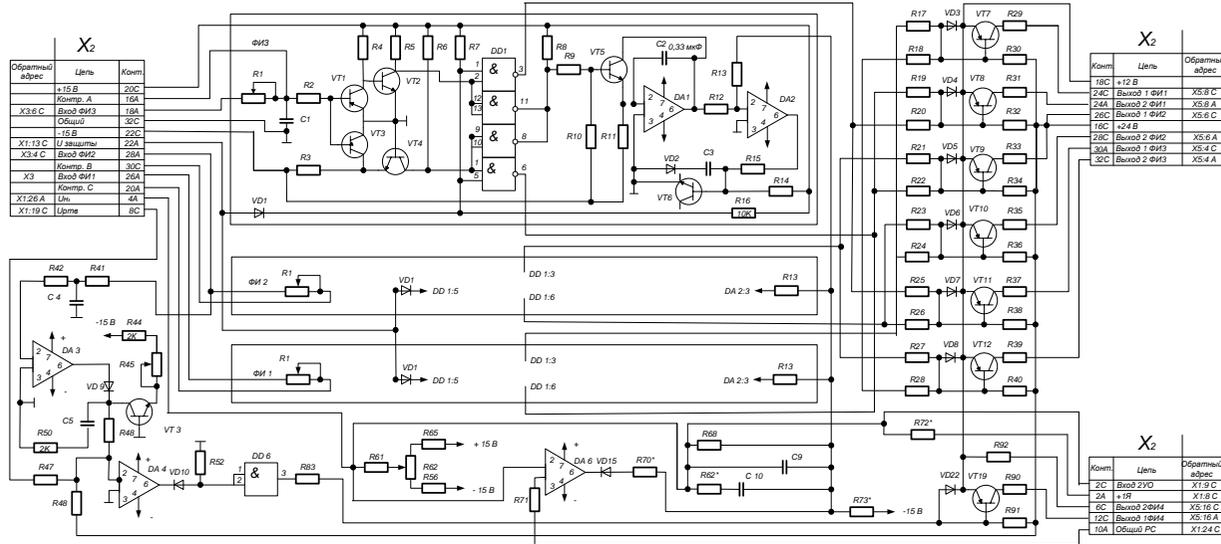
Функциональная схема электропривода



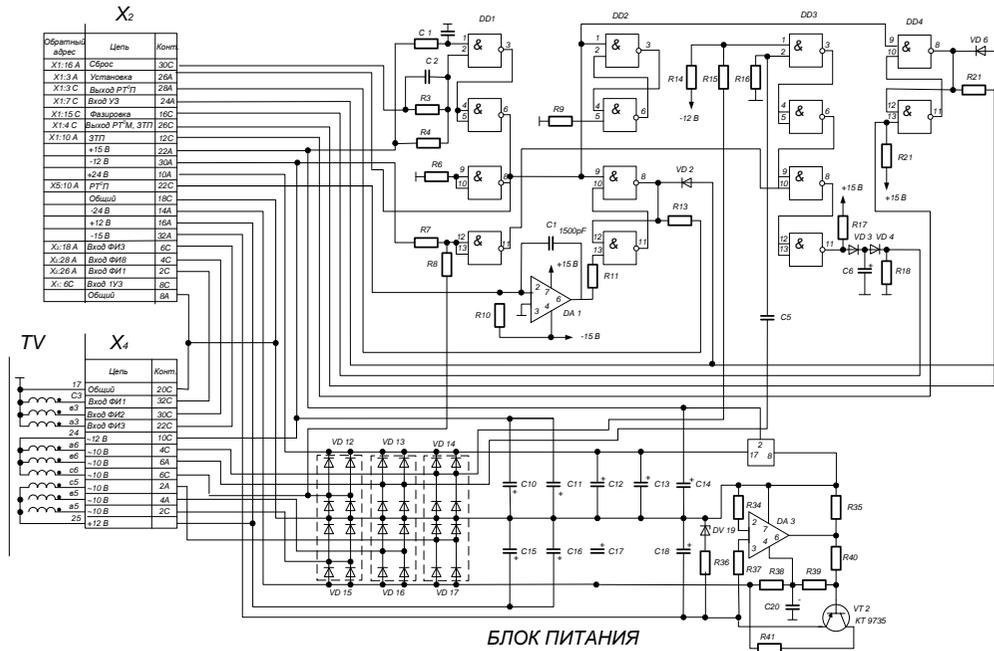
Структурная схема электропривода питателя



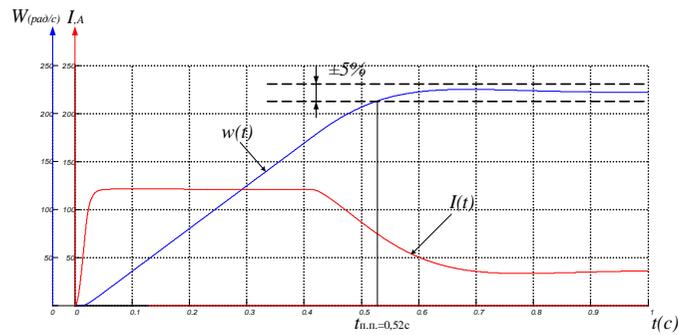
Принципиальная схема электропривода питателя



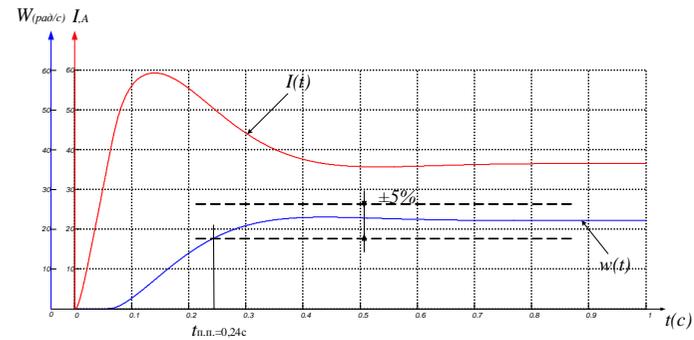
ПЛАТА №2



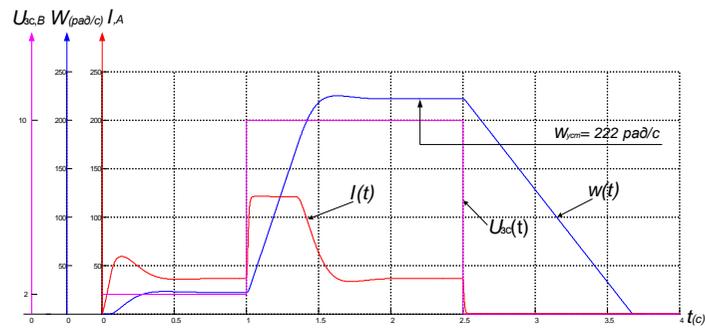
БЛОК ПИТАНИЯ



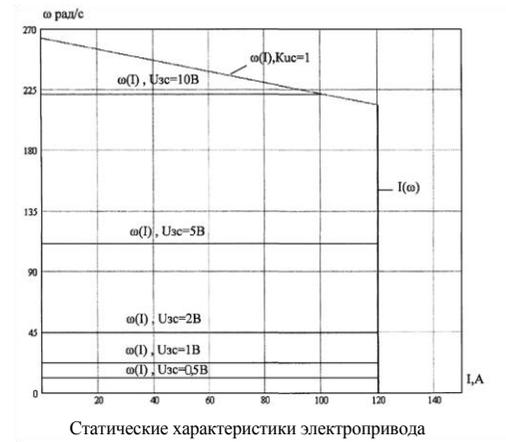
Переходные процессы при $M_c=70 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $U_s=10 \text{ В}$.



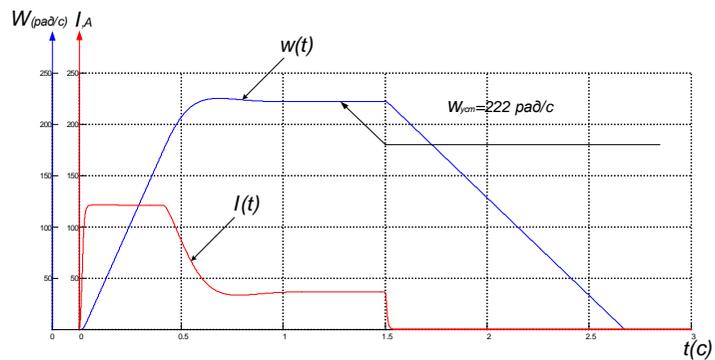
Переходные процессы при $M_c=70 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $U_s=1 \text{ В}$.



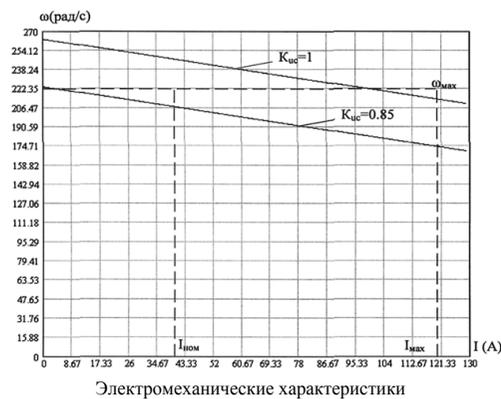
Переходные процессы при $M_c=70 \text{ Н}\cdot\text{м}$, пуск $U_s=1 \text{ В}$ разгон до $U_s=10 \text{ В}$ и останов $U_s=0 \text{ В}$.



Статические характеристики электропривода



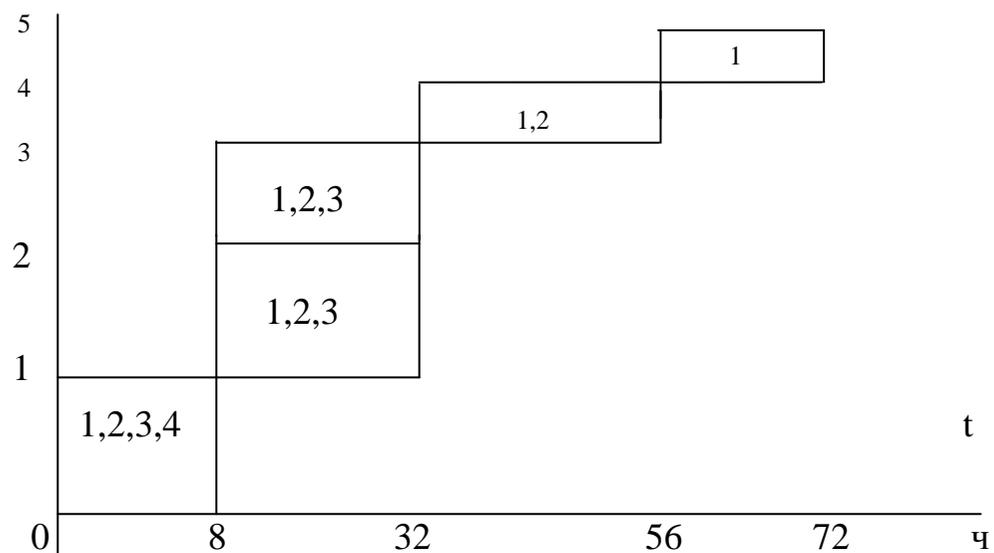
Переходные процессы при $M_c=70 \text{ Н}\cdot\text{м}$, пуск $U_s=10 \text{ В}$ и останов $U_s=0 \text{ В}$.



Электромеханические характеристики

График выполнения ПНР

№ этапов



Инженер наладчик (1)

Электрослесарь 5 разряда (2)

Слесарь по ремонту оборудования 5 разряда (3)