

**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 Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Электрооборудование и электропривод механизма распределения шихты доменной печи

УДК 621.31:62-83-52:669.162.21

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Маматов Навруз Норбек угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	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	Ледовская А.М.			

**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 Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением Ю.Н. Дементьев

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Маматову Наврузу Норбеку угли

Тема работы:

<b>Электрооборудование и электропривод механизма распределения шихты доменной печи</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3244/с от 10.05.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><small>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</small></p>	<p>Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><small>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсужде-</small></p>	<p>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-</p>

<p>ние результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>мических характеристик, принципиальная электрическая схема, защита и сигнализация социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>- схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Попова Светлана Николаевна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Ледовская Анна Михайловна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Заключение</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>05.04.2018г..</p>
--	----------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	к.т.н.		05.04.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Маматов Навруз Норбек угли		05.04.2018г.

## РЕФЕРАТ

Перечень ключевых слов: Вращающийся распределитель шихты, электропривод постоянного тока, тиристорный преобразователь, система автоматического управления, статические и динамические характеристики, показатели качества регулирования.

Объектом исследования является вращающийся распределитель шихты, входящий в систему верхней загрузки доменной печи.

Целью проекта является разработка электропривода вращающегося распределителя шихты доменной печи в соответствии с требованиями технического задания, и исследовать его работу методами численного моделирования на ЭВМ.

В ходе работы был разработан электропривод, на базе тиристорного электропривода обеспечивающий следующие показатели качества:

- плавность пуска;
- точность регулирования;
- надёжность электропривода.

## Содержание

Введение	7
<b>1.ПРОЕКТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ</b>	<b>8</b>
1.1 Технологический процесс цеха	8
1.2 Описание работы механизма	12
1.3 Автоматическая система загрузки доменной печи	13
1.4 Развитие отечественной системы загрузки	15
1.5 Выбор рода тока и системы электропривода	17
1.6 Современная система верхней загрузки	18
1.7 Кинематическая схема вращающегося распределителя шихты	21
1.8 Принципиальная электрическая схема электропривода	25
<b>2. ПРОЕКТНО-РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ</b>	<b>28</b>
2.1 Расчет мощности электродвигателя	28
2.1.1 Расчетные параметры электродвигателя	36
2.2 Механическая система электропривода	38
2.3 Выбор комплектного электропривода	39
2.4 Функциональная схема электропривода	40
2.5 Расчет параметров силовой цепи	43
2.6 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода	44
2.7 Структурная схема силового канала электропривода	47
2.8 Структурная схема электропривода вращающегося распределителя шихты	48
2.10 Синтез системы автоматического управления электроприводом	51
2.9 Структурная схема нелинейной САУ электропривода	57
2.10 Расчет переходных процессов в нелинейной САУ РЭП	59
2.11 Расчет статических электромеханических характеристик	64
<b>ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФ- ФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»</b>	<b>71</b>

3 Финансовый менеджмент , ресурсоэффективность и ресурсосбережение	72
3.1 Структура пуско-наладочных работ	73
3.2 Выбор состава и численности бригады на проведение ПНР	75
3.3 Выбор формы и системы оплаты труда	77
3.4 Распределение и график проведения ПНР	78
3.5 Определение сметной стоимости ПНР	82
3.6 Определение сметной стоимости ПН	85
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	87
4 Социальная ответственность	88
4.1 Производственная безопасность	88
4.2 Экологическая безопасность	96
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	98
4.4 Правовые и организационные вопросы безопасности	99
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	104
Приложение А	106

## **ВВЕДЕНИЕ**

Наиболее сложным и ответственным комплексом механизмов доменного цеха является система загрузки печи, по техническому уровню которой можно судить о совершенстве всего электрооборудования цеха.

**Вращающийся распределитель шихты** входит в состав системы загрузки доменной печи. Так как производство чугуна носит непрерывный характер и сбой в работе оборудования может привести к большим затратам из-за нарушения технологического процесса, к её оборудованию предъявляются высокие требования надёжности.

Это обстоятельство, а также технический прогресс в области электротехники и электроники привёл к использованию тиристорных электроприводов. Развитие микропроцессорной техники способствовало появлению цифровых систем управления. На современном этапе развития система загрузки домны является гибкой автоматизированной системой, управляемой от микроконтроллера.

Тиристорные преобразователи являются универсальным средством преобразования переменного напряжения питающей сети в регулируемое постоянное и при этом имеют малую мощность управления, высокий КПД и большую надёжность.

Система электропривода, рассматриваемая в данном проекте, находится на ОАО “ЗСМК” в доменном цехе на доменной печи №3.

# 1 ПРОЕКТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Технологический процесс цеха

Исходными, или сырыми материалами доменной плавки являются руда и агломерат, содержащие окиси железа, кокс, используемый в качестве топлива, и так называемые флюсы, образующие с пустой породой руды и золой кокса жидкий шлак. В качестве флюсов применяют главным образом известняк  $\text{CaCO}_3$ .

Поперечный разрез доменного цеха приведён на рисунке 1 где: 1-пылеуловитель; 2-доменная печь; 3-газовый затвор засыпного аппарата; 4-большой конус; 5-засыпное устройство колошника; 6-приёмная воронка колошника; 7-газопровод запылённого газа; 8-консольно-поворотный кран; 9-балансиры конусов; 10-вращающийся распределитель шихты; 11-малый конус; 12-чаша малого затвора; 13-фурмы воздушного дутья; 14-чугуновоз; 15-шлаковоз; 16-лебёдка конусов; 17-лебёдка главного подъёма; 18-здание колошниково-го подъёмника; 19-наклонный мост; 20-направляющие рельсы; 21-направляющие шкивы канатов; 22-подъёмник коксовой мелочи; 23-бункерная эстакада; 24-разгрузочный бункер; 25-скиповая яма; 26-скип.

Сырые материалы доставляются в доменный цех при помощи конвейерной подачи, а затем их загружают в бункерную эстакаду. Бункерная эстакада служит для механизированной подачи материалов в доменную печь. Запас рудных материалов в бункерах на 48-60 часов работы доменной печи.

Во избежание измельчения кокса число перегрузок сведено к минимуму. Два коксовых бункера размещены по оси доменной печи, непосредственно над скиповой ямой. Запас кокса в обоих бункерах достаточен для работы печи в течение 10-12 часов. Для загрузки бункеров применяют саморазгружающиеся вагоны. Кузов затворами для независимой разгрузки.

Для набора, взвешивания и транспортировки шихтовых материалов из рудных бункеров в скипы для дальнейшей отправки в доменную печь служат элект-

трифицированные воронка-весы с двумя саморазгружающимися бункерами. Последние подвешены на весовых рычагах, с которыми индукционные датчики и регистратор веса.

Для погрузки всех шихтовых материалов в скипы предусмотрена скиповая яма, расположенная по оси печи ниже уровня нулевой отметки.

Воронка-весы из своих двух бункеров выгружают материалы через направляющие желоба в соответствующий скип (правый или левый).

В погрузке кокса участвуют коксовые грохоты, предназначенные для отсева коксовой мелочи и служащие, в то же время, затворами коксовых бункеров; весовые коксовые воронки и затворы этих воронок. В скиповой яме размещается также насос для откачки грунтовой воды.

Из скиповой ямы материалы поднимаются в загрузочных вагонетках (называемых скипами) по наклонному стальному мосту, связывающему скиповую яму с колошником, к загрузочному устройству. Устройство работает циклически, загружая шихту в печь дискретно. Высыпающиеся из скипа шихтовые материалы попадают в приёмную воронку загрузочного устройства, а из неё - в затвор распределителя шихты. Затем этот затвор вместе с шихтой поворачивается на заданный угол, через уравнильные (выхлопные) клапаны выпускается газ из межконусного пространства в атмосферу для уравнивания давления в нём с атмосферным и после этого производится опускание малого конуса. Шихта под действием собственного веса высыпается в засыпной аппарат, а малый конус поднимают в исходное положение. Далее операцию выгрузки шихты в засыпной аппарат повторяют, набирая в нём полную шихтовую подачу или полуподачу. Загрузка шихты в печь производится путём опускания большого конуса, которому предшествует уравнивание давления в межконусном пространстве с давлением газа на колошнике. Для этого в межконусное пространство через уравнильные (наполняющие) клапаны подаётся получистый доменный газ. Большой конус затем поднимается в исходное положение, и описанный цикл работы устройства повторяется.

Уровень засыпи шихты в доменной печи измеряется с помощью двух щупов-зондов, подвешенных на канатах и перемещаемых в вертикальной плоскости лебёдками.

Основным и наиболее ответственным агрегатом рассматриваемого узла доменной печи является **загрузочное устройство**, технологические возможности, эксплуатационная надёжность и конструктивные особенности которого во многом определяют технико-экономические показатели плавки, условия обслуживания колошника печи (верха печи) и степень загрязнения воздушного бассейна.

Современный доменный технологический процесс и условия эксплуатации предъявляют к загрузочному устройству **следующие требования:**

1. возможность равномерного окружного распределения шихты на колошнике, регулирования в широких пределах радиального её распределения, селективной загрузки колошника;
2. высокая газоплотность при избыточном давлении колошникового газа 0,25-0.3 Мпа;
3. длительная стойкость газо- и шихтозапирающих, а также распределительных элементов против абразивного, газоабразивного износа;
4. возможность загрузки в печь горячего агломерата с температурой до 600<sup>0</sup>С;
5. обеспечение повышенной пропускной способности при работе печи в режиме “догона”, используемом для быстрого восстановления заданного уровня засыпи шихты в печи;
6. высокая надёжность и ремонтпригодность, возможность проведения монтажа укрупнёнными узлами;
7. возможность полной автоматизации управления работой механизмов.

Для равномерного распределения шихты по окружности колошника используют **вращающийся распределитель шихты**.

Конечным продуктом доменной плавки является чугун, который вместе со шлаком выпускают периодически, по мере накопления его в горне.

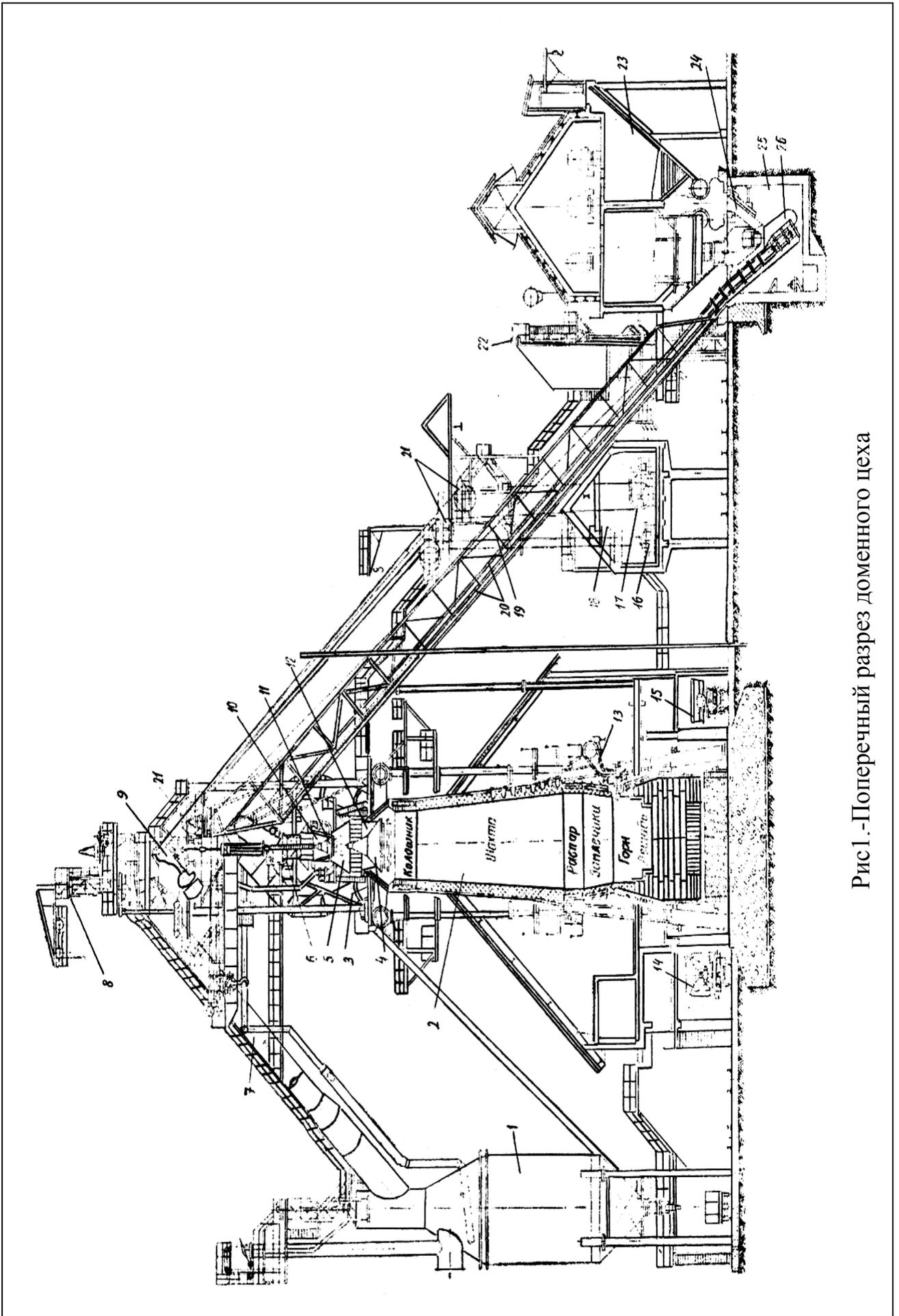


Рис1. - Поперечный разрез доменного цеха

## 1.2 Описание работы механизма

Шихта в воронке малого конусного затвора распределяется неравномерно, как количественно по массе, так и качественно по гранулометрическому составу. Характер распределения шихты зависит от угла естественного откоса материала, его количества, фрикционной неоднородности, а также от угла наклона стенок и диаметра выходного отверстия приёмной воронки и других параметров. Количественная неравномерность распределения шихты обусловлена постоянным смещением оси каждого скипа относительно оси воронки распределителя, а качественная – агрегацией материала при его движении по днищу скипа и стенкам приёмной воронки.

Для создания в печи равномерного сопротивления движению печных газов необходимо, чтобы места распределения неравномерностей высыпаемых на малый конус материалов **периодически смещались по окружности** колошника на равные расстояния.

Поэтому засыпные устройства снабжают **вращающимся распределителем шихты**. Воронка распределителя при загрузке её материалом из скипа остаётся неподвижной. Загруженная воронка поворачивается вместе с малым конусом на заданный угол поворота, величина которого зависит от принятых числа подач в цикле загрузки печи и программы работы распределителя шихты, предусматривающей определённую последовательность чередования этих углов (станций загрузки), которые в свою очередь для шести станций равны  $0;60;120;180;240;300^{\circ}$ . В основном используют работу распределителя на шесть станций, которая в дальнейшем будет использована для расчёта электродвигателя. Но иногда применяют программы работы на 8, 12 и 24 станции, при которых также осуществляется так называемая спиральная загрузка печи. Применяют зеркальную, шахматную и другие виды загрузки. Для сокращения продолжительности поворота затвора на углы большие  $180^{\circ}$  (например,  $240^{\circ}$  и  $300^{\circ}$ ), его поворачивают в обратном направлении на меньшие углы. На рисунке 2 изображена программа работы распределителя шихты на шесть станций.

## Сторона наклонного моста

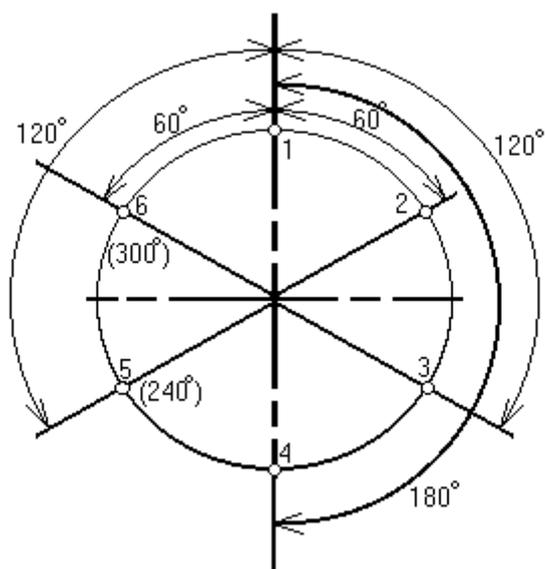


Рисунок 2 – Программа работы распределителя шихты на шесть станций

При таком графике работы материал на большом конусе будет перемещаться по окружности и в печи расположится по винтовой линии.

Если ход печи нарушается, порядок поворотов устанавливается требованиями технологического процесса.

### 1.3 Автоматическая система загрузки доменной печи

В систему загрузки входит четырнадцать основных механизмов, которые связаны общими условиями технологического процесса и должны работать согласованно. При ручном управлении потребовалось бы несколько операторов, причём из-за невозможности точно согласовать их действия с требованиями программы загрузки, имели бы место задержки в работе механизмов и неправильные операции управления. Только автоматическое управление механизмами обеспечило высокую точность, производительность и надёжность работы комплексной системы загрузки. Огромное значение имеет также правильная шихтовка печи,

что обеспечивается наиболее полно лишь при автоматической загрузке материалов.

Шихтовые материалы подаются в печь равномерно, циклически повторяющимися подачами. В состав каждой подачи входят все материалы шихты: руда, агломерат, флюсы, добавки и топливо – кокс. Число гружёных скипов в подаче составляет обычно 4.

В состав современной системы загрузки входят следующие механизмы: главный подъёмник; воронка-весы, служащие для погрузки рудных материалов; механизмы коксовой погрузки – грохоты, затворы весовых коксовых воронок и подъёмник коксовой мелочи; механизмы засыпного аппарата, расположенные на колошнике, - вращающийся распределитель шихты, малый и большой конусы, зонды, уравнивательные клапаны, вентили для заливки воды. Все эти механизмы должны работать в определённой последовательности, нарушение которой может привести к простоям и авариям.

В соответствии с заранее установленной программой скипы грузятся рудой или коксом в скиповой яме. Гружёный скип может быть отправлен после того, как полностью опорожнился карман вагон-весов или весовая коксовая воронка и затворы их закрылись. После прихода скипа на колошник и высыпания всего материала в воронку вращающегося распределителя шихты, воронка поворачивается на заданный угол и останавливается. Открываются выхлопные клапана межконусного пространства, и начинается процесс выравнивания давления “межконусное пространство – атмосфера”. По окончании этого процесса открывается малый конус и, по истечении времени, необходимого для высыпания всего материала на большой конус, закрывается. Если по программе требуется опустить большой конус для загрузки материалов в печь, то после закрывания малого конуса закрываются выхлопные клапаны межконусного пространства, открываются наполнительные клапаны и начинается процесс выравнивания давления “доменная печь – межконусное пространство”. После выравнивания давления поднимают зонды. Только при выполнении вышеперечисленных операций даётся разрешение на открывание большого конуса. По истечении времени, необходимого для высыпания всего материала в печь, большой конус закрывается,

зонды опускаются на шихту, а клапаны устанавливаются в исходные положения (наполняющие – закрыты, выхлопные – открыты).

В скип не должны одновременно загружаться руда и кокс; недопустима отправка скипа во время его загрузки. В случае опускания большого конуса при опущенных зондах, последние могут быть завалены материалом и повреждены (оборваны канаты); при одновременном открывании малого и большого конуса колошниковый газ из печи будет выходить в атмосферу, в результате воспламенения газа может быть повреждено оборудование на колошнике. При опускании малого конуса без поворота вращающегося распределителя нарушится порядок распределения материалов в печи и технологический процесс.

Для сохранения времени подачи, и увеличения производительности системы загрузки применяется совмещение во времени отдельных операций, например, одновременная работа главного подъёмника и механизмов засыпного аппарата; загрузка кокса в весовые воронки во время подъёма скипов и др.

Максимальная производительность системы загрузки будет достигнута в том случае, если выполняются следующие условия:

- время остановки главного подъёмника незначительно превышает время, необходимое для погрузки материала в скип;
- время работы механизмов и погрузочных операций сведено к минимуму.

#### **1.4 Развитие отечественной системы загрузки**

Первый комплект отечественного оборудования был изготовлен в 1928 г. для доменной печи завода им. Дзержинского. Электрооборудование поставлял Харьковский электромашиностроительный завод (ХЭМЗ); управление механизмами было дистанционным, но не автоматическим.

Первая советская автоматическая система загрузки была изготовлена в 1933 г. для типовой доменной печи Гипромеза полезным объёмом 930 м<sup>3</sup>. Схемы и аппаратура автоматического управления были разработаны заводом ХЭМЗ.

Особенностью этой системы было применение для главного скипового подъёмника двухдвигательного привода постоянного тока с реостатным управлением и последовательно – параллельным включением двигателей; для управления конусами были применены пневматические цилиндры. Расчётная скорость подъёма скипов составляла 1,85 м/с.

Вторая модель системы загрузки разработана в 1935 г. для доменной печи объёмом 1143 м<sup>3</sup>. Для главного подъёмника был применён привод генератор – двигатель (Г-Д) с двумя двигателями типа КП4-4 по 190 кВт, 300 В, 620 об/мин. Каждый двигатель получал питание от отдельного преобразовательного агрегата, состоящего из генератора постоянного тока 210 кВт, 330 В и асинхронного двигателя 350 кВт, 720 об/мин. Максимальная скорость лебёдки была повышена до 2,5 м/с.

В 1937 г. ХЭМЗ разработал третью модель автоматической системы загрузки применительно к типовой печи Гипромеца с полезным объёмом 1300 м<sup>3</sup>. Отличительными особенностями этой системы были применение для питания двигателей главного подъёмника одного общего генератора типа ПБК-6, 500 кВт, 600 В с приводными синхронными двигателями 700 кВт\*А, 520 кВт, 6 кВ, 750 об/мин; применение одной комбинированной лебёдки для управления конусами; усовершенствование схем автоматического управления. Скорость главного подъёмника была доведена до 3 м/с путём увеличения скорости двигателей КП4-4 с 620 об/мин до 740 об/мин ослаблением их потока.

Послевоенные годы характеризуются значительным усовершенствованием технологического процесса производства чугуна и увеличением производительности доменных печей. Возрос удельный вес крупных доменных печей и повысился общий уровень автоматизации. Контроль за режимом печи стал осуществляться по многим параметрам.

В 1949 – 1950 г. Трест ”Электропривод” разработал пятую, а в 1952 – 1953 г. шестую модель автоматической системы загрузки. В 1956 г. ЦКБ “Электропривод” была разработана следующая модификация автоматической системы загрузки, которая повторяет технологические особенности модели 1952 – 1953 г.,

но отличается от последней применением новой лебёдки конусов с приводом переменного тока и более совершенными конструкциями станций управления, релейной и командной аппаратуры и электродвигателей.

В модели системы загрузки 1961 г. предусмотрены возможности загрузки скипов автоматизированными вагон-весами или конвейерами; привод уравнительных клапанов переменного тока в двух вариантах – встроенный и с тросами; командная аппаратура режимного управления – набора команды подач, программы работы вращающегося распределителя шихты и др.

Конвейерная система шихтоподачи к скипам позволяет не только улучшить состав шихты и повысить производительность загрузки, но и завершает автоматизацию всей системы с обеспечением её работы без вмешательства человека, при сохранении за ним лишь функций контроля.

Развитие полупроводниковой техники привело к появлению автоматической системы загрузки с системой управления выполненной по схеме управляемый выпрямитель – двигатель. В качестве управляемых выпрямителей были разработаны комплектные тиристорные электропривода серии КТЭУ, ЭКТ, КТЭ и др.

## **1.5 Выбор рода тока и системы электропривода**

Выбор рода тока производим исходя из предъявляемых требований к условиям работы механизма управления вращающегося распределителя шихты.

Для электропривода распределителя шихты наиболее рационально воспользоваться системой питания на постоянном токе. Электропривод постоянного тока применяется в агрегатах и установках, где требуется широкий диапазон регулирования, высокая точность и быстродействие. Электропривод переменного тока не может удовлетворить требованиям, предъявляемым к механизму.

Для выбора системы электропривода проведём сравнительный анализ систем, использующихся для питания двигателя постоянного тока. Для питания

электродвигателя в регулируемом электроприводе постоянного тока применяются следующие системы преобразовательных устройств:

- генератор – двигатель (Г-Д);
- транзисторный преобразователь – двигатель (ТрП-Д);
- тиристорный преобразователь – двигатель (ТП-Д).

Система Г-Д характеризуется своей простотой, малым влиянием на питающую сеть. К недостаткам данного устройства следует отнести большую установленную мощность электрических машин, большое количество коммутирующих аппаратов, шумность системы, невысокий КПД (равен 0,86), инерционность системы регулирования.

Система ТрП-Д позволяет реализовать полностью управляемый привод, имеет высокий КПД (КПД=0,96). В нашем случае эта система не может быть применена из-за малой мощности элементной базы, сложностью в управлении.

Система ТП-Д обладает многими достоинствами:

- большая жёсткость электромеханических характеристик;
- высокий КПД (КПД=0,9);
- бесшумность в работе;
- простота в обслуживании и эксплуатации.

Следует отметить, что наряду со значительными преимуществами система обладает рядом недостатков. Преобразователь имеет одностороннюю проводимость, то есть нужно применять для реверсирования двигателя два комплекта тиристоров; работа управляемого выпрямителя характеризуется режимом прерывистого тока, при котором резко падает жёсткость характеристик; система имеет малую перегрузочную способность по току и напряжению.

Несмотря на отмеченные недостатки, система ТП-Д является в настоящее время **основной** и наиболее **эффективной системой управления**.

На основании приведённого сравнительного анализа выбираем систему тиристорный преобразователь – двигатель, как наиболее удовлетворяющую требованиям технологического процесса.

## 1.6 Современная система верхней загрузки

Структура автоматической системы загрузки доменной печи состоит из следующих подсистем:

- подсистема верхней загрузки;
- подсистема нижней загрузки;
- подсистема “КАУПЕР”, управляющая работой воздухонагревателей;
- подсистема “КИП”, предназначенная для контроля параметров технологического процесса с помощью измерительных приборов.

Перечисленные подсистемы построены на основе контроллера повышенной надёжности “SIMATICS5-135V”. К конструктивной особенности данного контроллера можно отнести то, что он состоит из двух связанных между собой подсистем, работающих по принципу “мастер – помощник”, в которых реализован “горячий” резерв. Обе они идентичны и имеют одинаковую программу пользователя. Оба ЦПУ выполняют расширенное самотестирование и синхронизацию. Одно из устройств – мастер – управляет процессом. Если возникает сбой, другое устройство – помощник – плавно перенимает управление. Подобное построение даёт ряд преимуществ:

- автоматическая передача данных и сигналов между главным и резервным ЦПУ – синхронизация по событиям;
- мгновенное переключение на резервный ЦПУ без потери данных;
- расширенная система диагностики, уменьшающая время ремонта;
- простое программирование, как для обычного контроллера при помощи стандартного пакета STEP5.

Основные технические характеристики контроллера SIMATICS5 приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Техническая характеристика контроллера SIMATICS5-135V

Основные технические характеристики	S5 - 135V
Объём памяти (встроенная/макс), Кбайт	128

Время обработки 1 Кбайта двоичных команд, мс	0,2
Время обработки 1 Кбайта смешанных команд, мс	0,5
Время основного цикла (без программы пользователя), мс	15
Дублированные цифровые входы/выходы, макс	1024/1024
Обычные цифровые входы/выходы, макс	1
Дублированные аналоговые входы/выходы, макс	64/64
Обычные аналоговые входы/выходы, макс	1

Подсистема управления верхней загрузкой на механизмы верхней загрузки воздействует следующим образом:

- управляет скиповым подъёмником, подсистемой пылеподавления, лебёдкой конусов, наполняющими и выхлопными клапанами, лебёдкой зондов, вращающимся распределителем шихты;
- следит за последовательностью обрабатываемых операций (синхронизация работы механизмов);
- осуществляет взаимные блокировки между работой механизмов верхней загрузки;
- при возникновении внештатной ситуации подсистема генерирует предупреждающее сообщение, возлагая на оператора – технолога функцию принятия решения (в отдельных случаях сама принимает решение и производит его обработку с последующей выдачей сообщения);
- осуществляет функцию синхронизации с подсистемой нижней загрузки

Функциональная структура подсистемы верхней загрузки состоит из 2-х уровней:

- операторские станции;
- управление процессом загрузки.

Функции операторских станций:

- отображение мнемосхем верхней загрузки и отдельных технологических механизмов;
- управление процессом загрузки;

- настройка подсистемы верхней загрузки;
- протоколирование и архивирование технологических параметров, характеризующих процесс загрузки, аварийных и предупреждающих сообщений, возникающих в ходе процесса
- хранение шести базовых программ подач и приём в работу одной из них (с возможностью коррекции) по инициативе оператора.

Функции контроллера SIMATIC5-135V:

- обработка рабочей программы подач;
- подготовка информации для отображения технологического процесса хода загрузки и диагностика её выполнения;
- расчёт углов поворота распределителя шихты;
- подготовка блока данных для последующей передачи их в операторские станции;
- обработка аналоговых сигналов;
- управление механизмами верхней загрузки;
- синхронизация работы верхней и нижней загрузки печи;
- синхронизация работы механизмов верхней загрузки;
- настройка приводов подсистемы верхней загрузки;
- анализ работоспособности механизмов и датчиков;
- выдача управляющих команд в схемы приводов;
- подготовка информации для станций “ЭЛЕКТРОПРИВОД”.

## **1.7 Кинематическая схема вращающегося распределителя шихты**

Вращающийся распределитель шихты служит для равномерного распределения шихтовых материалов по окружности колошника доменной печи объёмом 3000м<sup>3</sup>.

Распределитель шихты состоит из следующих основных узлов: вращающейся воронки с механизмом вращения, малого конуса со штангой, привода вращения.

Кинематическая схема вращающегося распределителя шихты приведена на рисунке 3.

Вращающаяся воронка включает в себя сварной или сварно-литой корпус и закреплённые на нём верхнюю 7 и нижнюю 8 воронки. Воронка 7 выполнена из двух соединённых между собой сварных частей, футерованных плитами из износостойкой стали. Воронка 8, выполняемая из углеродистой или марганцовистой стали, цельнолитая или сварно-литая. В нижней части изнутри она наплавлена твёрдым сплавом для защиты от износа.

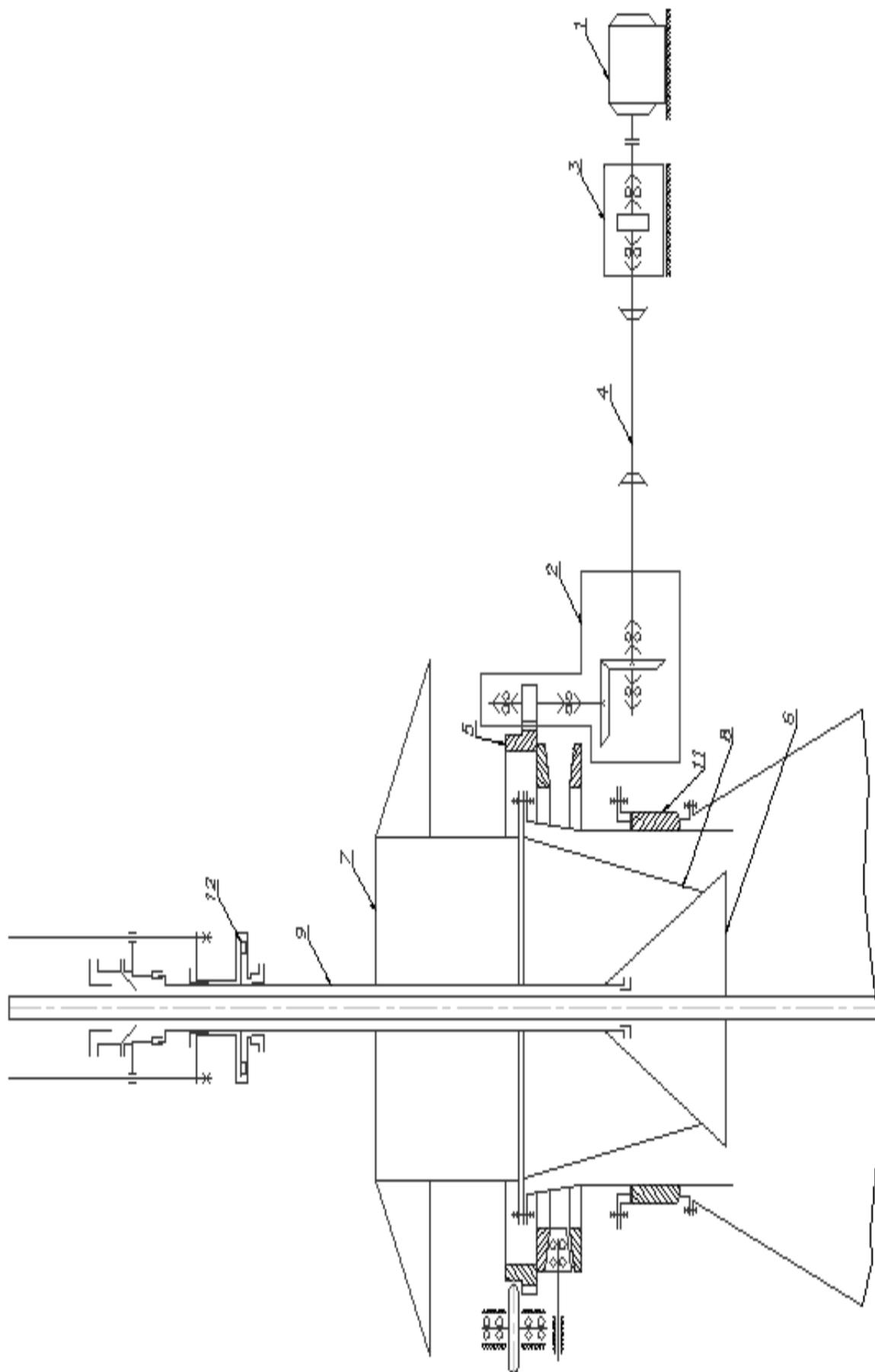


Рисунок 3 – Кинематическая схема

Сварно-литой корпус снабжён двумя кольцевыми приливами с верхним и нижним съёмными беговыми дорожками, выполненными в виде кованных сегментов из стали повышенной твёрдости. Одной из этих дорожек (в зависимости от направления вертикального усилия) вращающаяся воронка опирается на три конических ролика 10 (опорных или контропорных). Ролики смонтированы на стойках, прикреплённых к сварному опорному кольцу. На фланце сварного литого корпуса закреплён литой зубчатый венец 5, находящийся в зацеплении с шестернёй углового редуктора 2. Последний имеет коническую зубчатую передачу и установлен на опорном кольце. С помощью трёх упорных роликов, смонтированных в стойках опорных роликов 10 сварно-литой корпус с зубчатым венцом 5 фиксируется от смещения в горизонтальной плоскости. Также регулируется положение роликов 10 относительно беговых дорожек. Предусмотрена возможность регулирования положения упорных роликов в горизонтальном положении.

В кольцевом зазоре между опорным кольцом и вращающимся сварно-литым корпусом предусмотрены сальниковые уплотнения 11, предотвращающие выход колошникового газа из межконусного пространства грузочного устройства в атмосферу. В качестве уплотнения используют специальный асбестовый прографиченный шнур, армированный медной проволокой. Каждый ярус уплотнения поджат своей грундбуксой и имеет независимый подвод густой смазки.

К верхней воронке 7 прикреплён стальной зонт, защищающий элементы механизма вращения от случайного попадания на них кусков шихтовых материалов.

Узел малого конуса со штангой устроен следующим образом. Собственно малый конус в закрытом (поднятом) положении примыкает к воронке 8, запирая межконусное пространство. Его отливают из углеродистой стали, в зоне контактирования и по всей рабочей поверхности наплавляют износостойким твёрдым сплавом. Конус может быть выполнен цельнолитым или составным из двух частей, плотно стыкующихся в вертикальной плоскости с помощью болтов.

Штангу 9, служащую для подвешивания конуса, выполняют полый из цельнотянутой толстостенной трубы. На концевых участках её нарезана резьба. Штанга сочленяется с конусом посредством навёрнутой на её нижний конец головки, которая зафиксирована от проворачивания специальным стопорным кольцом. На фланце головки болтами закреплён стакан, снабжённый латунной втулкой, которая служит направляющей штанги большого конуса засыпного аппарата, пропускаемой через штангу 9.

Верхней своей частью с помощью навёрнутой головки и гаек, штанга 9 опирается на роликовый подпятник 12, заключённый в разъёмный по вертикали корпус. Такая конструкция обеспечивает возможность вращения штанги вместе с малым конусом за счёт его прижатия к воронке.

Над роликовым подпятником 12 смонтированы трёхъярусные сальниковые уплотнения для предотвращения выхода колошникового газа из межконусного пространства в атмосферу через кольцевой зазор между штангами малого и большого конусов. Сальниковое уплотнение каждого яруса имеет независимое поджатие. Под верхним сальниковым уплотнением в промежуточной грундебуксе установлена латунная втулка – направляющая штанги большого конуса.

Привод распределителя шихты в целях защиты его от воздействия горячего колошникового газа и обеспечения удобства обслуживания выполнен выносным и соединён с приводным валом углового редуктора 2 карданным валом 4. На сварной раме привода, установленной и закреплённой болтами на стальных конструкциях колошникового устройства, смонтированы: электродвигатель 1; цилиндрический двухступенчатый редуктор 3, соединённый с электродвигателем упругой муфтой и путевой выключатель, соединённый с тихоходным валом редуктора 3.

Густая смазка сальниковых уплотнений вращающейся воронки, межштангового зазора и подшипников качения, включая роликовый подпятник, - централизованная от автоматизированных смазочных станций.

Техническая характеристика вращающегося распределителя шихты приведена в таблице 2.

Таблица 2. – Техническая характеристика вращающегося распределителя  
ШИХТЫ

Основные технические характеристики	Параметры
Модель	СЗ-21-17
Полезный объём вращающейся воронки, м <sup>3</sup>	17
Диаметр малого конуса, мм	2500
Частота вращения воронки (номинальная), об/мин	3
Избыточное давление газа в межконусном пространстве, Мпа	0,25
Масса, т	110,6
Полезный объём печи, м <sup>3</sup>	3000
Угловая скорость воронки рад/с	0,314

### 1.8 Принципиальная электрическая схема электропривода

Принципиальная электрическая схема приведена в графической части работы.

Принципиальную электрическую схему КТЭ можно условно разбить на ряд самостоятельных устройств и систем, взаимодействие которых обеспечивает требуемые эксплуатационные характеристики КТЭ.

К этим устройствам относятся:

1. тиристорный преобразователь с системой управления;
2. система вспомогательных устройств;
3. система защиты и сигнализации (СЗС);
4. автоматическая система регулирования (АСР);
5. система питания электронных устройств.

**КТЭ** выполнен в виде **комплектных устройств**, в которые входит:

1. шкаф силовой (ШС);
2. шкаф управления (ШУ);
3. шкаф с реактором и автоматическим выключателем (ШРА).

Схема выпрямления находится в шкафу силовом (ШС) и представляет собой два, включённых встречно-параллельно тиристорных, трёхфазных, полностью управляемых моста.

Тиристорные мосты преобразователя питаются от сети переменного напряжения 380 В и частотой 50 Гц через токоограничивающий реактор, который находится в ШРА и выполняет функции ограничения влияния тиристорного преобразователя на сеть и снижения производной тока в рабочих и аварийных режимах.

КТЭ подключается к сети с помощью автоматического выключателя Q1, и к нагрузке подключается с помощью автоматического выключателя Q2.

Автоматические выключатели используются, как элементы защиты и расположены в ШРА.

В ШУ находятся следующие устройства:

1. кассета защиты и сигнализации К302А;
2. кассета фазосмещающих устройств К123А;
3. кассета управления К204.

Система защиты и сигнализации обеспечивает следующий вид защит и сигнализации:

1. от внутренних коротких замыканий;
2. при повышении мгновенного значения тока предельной величины для КТЭ;
3. при аномальных режимах в сети собственных нужд;
4. упреждающую защиту при опрокидывании и прорыве инвертора;
5. упреждающую защиту при появлении уравнительного тока;
6. при аварийной перегрузке тиристорov по среднеквадратичному току;
7. при исчезновении и недопустимом снижении силового напряжения;
8. при исчезновении и снижении ниже допустимого уровня тока возбуждения электродвигателя
9. при недопустимом превышении напряжения на якоре электродвигателя

КТЭ имеет два вида сигнализации:

- внешнюю, выходные устройства которой, в цепи централизованной сигнализации;
- внутреннюю, находящуюся в кассете защиты и сигнализации.

Внешняя сигнализация содержит три группы сборных сигналов:

1. о готовности КТЭ к работе, лампа HL3;
2. предупредительную сигнализацию, лампа HL2;
3. аварийную сигнализацию, лампа HL1;

Внутренняя сигнализация имеет следующую индикацию:

1. о положении автоматических выключателей на стороне постоянного и переменного токов;
2. о наличии силового напряжения, напряжения собственных нужд, напряжения питания вспомогательных устройств;
3. о готовности КТЭ к работе;
4. о появлении неисправности, привлекающей внимание обслуживающего персонала по каналам;
5. об аварийном отключении при появлении неисправностей предусмотренных в системе защиты и сигнализации.

Внутренняя сигнализация выполнена при помощи ячейки №000 входящей в кассету К302А.

Система регулирования построена на базе кассеты К204, в которую входят

:

- ячейка №213, которая содержит в себе задатчик интенсивности регулятора ЭДС;
- ячейка №200, в которой находится пропорциональный регулятор ЭДС и задатчик интенсивности регулятора тока;
- ячейка №210, в которой находится адаптивный регулятор тока;
- ячейка №215, ячейка шунтирования регуляторов.

Электрическая связь между ячейками осуществляется посредством разъемов, соединённых с помощью объединяющей печатной платы и называемой кассетой.

Датчики тока и напряжения, а также делители напряжения располагаются у мест установки шунтов и шин с которых снимаются сигналы и находятся в ШС.

Система импульсно-фазового управления выполнена на базе кассеты К123А, в состав которой входят:

1. ячейка фильтров №102;
2. ячейка согласования №122А;
3. ячейка каналов фазового управления №123А;
4. ячейка формирователей №118;
5. ячейка отдельного управления №125;
6. трансформатор синхронизации.

Электрическая связь между ячейками осуществляется посредством разъёмов, соединённых с помощью объединяющей печатной платы.

Электрическая связь с блоками импульсного устройства S120А, блоками состояния вентилей S119В, трансформатором синхронизации и другими устройствами КТЭ осуществляется с помощью разъёмов и проводного монтажа.

Блоки импульсного устройства S120 размещены в ШС непосредственно возле силовых тиристоров. В силовом шкафу расположены и блоки датчиков состояния вентилей S119А.

## **2 ПРОЕКТНО-РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ**

## 2.1 Расчет мощности электродвигателя

Мощность электродвигателя вращающегося распределителя шихты рассчитывается по методике изложенной в [ 7 ]. Согласно ей, для расчета мощности необходимо найти общий статический момент  $M_{ст}$  при вращении воронки распределителя шихты. Расчёт ведём по рисунку 4.

На рисунке 4 приняты обозначения 1-электродвигатель, 2-двухступенчатый редуктор.

Статический момент определяется как сумма трёх моментов:

$$M_{ст} = M1 + M2 + M3, \quad (2.1)$$

где  $M1$  - момент, затрачиваемый на преодоление сопротивления сил трения в подпятнике и в уплотнителях штанг;

$M2$  - момент, затрачиваемый на преодоление сил сопротивления при вращении воронки по опорным роликам;

$M3$  - момент, затрачиваемый на преодоление сил трения в сальниковых уплотнениях воронки.

Момент, затрачиваемый на преодоление сопротивления сил трения в подпятнике и в уплотнениях штанг:

$$M1 = K_y * Q_k * \mu * \frac{D}{2} = 1,15 * 650 * 0,1 * \frac{0,45}{2} = 17 \text{ кН*М}, \quad (2.2)$$

где  $K_y = 1,15$  - коэффициент, учитывающий сопротивление в сальниковых уплотнениях штанг и возможное трение между штангами;

$\mu = 0,1$  - коэффициент трения в подшипнике подпятника (при работе без смазки);

$Q_k = 650 \text{ кН}$  - усилие в штанге малого конуса, создаваемое балансиром;  $D = 0,45 \text{ м}$  - средний диаметр роликового хода в подпятнике.



Момент, затрачиваемый на преодоление сил сопротивления при вращении воронки по опорным роликам:

$$M2 = \varpi * Qi * \frac{D3}{2}, \quad (2.3)$$

где  $\varpi$  - коэффициент сопротивления перемещению воронки по роликам;

$Qi$  - усилие, действующее со стороны воронки на опорные ролики

$D3=3,78$  м – средний диаметр беговой дорожки.

Необходимо учитывать, что усилие  $Qi$  может быть направлено вниз (при атмосферном давлении в межконусном пространстве) или вверх (при избыточном давлении газа в межконусном пространстве).

Наибольшее давление  $Qi$  на нижние опорные ролики наблюдается в том случае, если на малом конусе лежит самый тяжёлый материал (мокрая руда), и в межконусном пространстве давление газа равно атмосферному:

$$Q1 = Gr + Gв + G... - Qк, \quad (2.4)$$

где  $Gr$  – вес руды, кН;

$Gв = 670$  кН – вес вращающейся воронки с фланцем, зубчатым венцом и футеровкой;

$G_{кон} = 220$  кН – вес малого конуса со штангой, защитными кольцами и подвеской;

Вес руды находится по следующей формуле:

$$Gr = v * \gamma_{руда} * q = 17 * 2500 * 10 = 425 \text{ кН}, \quad (2.5)$$

где  $v = 17 \text{ м}^3$  – ёмкость воронки малого конуса;

$\gamma_{руда} = 2500 \text{ кг/м}^3$  – насыпной вес руды;

$q = 10 \text{ Н/кг}$  – сила тяжести.

$$Q1 = 425 + 670 + 220 - 650 = 665 \text{ кН}.$$

Наибольшее давление  $Qi$  на верхние опорные ролики наблюдается в том случае, если на малом конусе лежит самый лёгкий материал (кокс) и в межконусном пространстве давление газа равно повышенному давлению в печи:

$$Q2 = G_{\text{кокс}} + G_{\text{кон}} + G_{\text{в}} - Q_{\text{к-р}} \frac{\pi * D_5^2}{4}, \quad (2.6)$$

где  $G_{\text{кокс}}$  – вес кокса, кН;

$p=0,25$  Мпа – избыточное давление газа в межконусном пространстве;

$D_5=3,08$  м – наружный диаметр вращающейся воронки.

Вес кокса находим по следующей формуле:

$$G_{\text{кокс}} = V * \gamma_{\text{кокс}} * g = 17 * 400 * 10 = 68 \text{ кН}, \quad (2.7)$$

где  $\gamma_{\text{кокс}}=400$  кг/м<sup>3</sup> – насыпной вес кокса.

$$Q_2 = 68 + 220 + 670 - 650 - 250 \frac{3,14 * 3,08^2}{4} = -1554 \text{ кН}.$$

Отрицательный знак показывает, что воронка прижимается своим фланцем к верхним опорным роликам.

Найдём коэффициент сопротивления перемещению воронки по роликам:

$$\varpi = \frac{\mu_1 * d_1 + 2f}{D_1} = \frac{0,05 * 0,14 + 2 * 0,0015}{0,55} = 0,018, \quad (2.8)$$

где  $\mu_1=0,05$  – коэффициент трения в подшипниках роликов;

$f=0,0015$  – коэффициент трения качения ролика по роликовому ходу воронки, принимается повышенным вследствие возможного наличия пыли и грязи на поверхностях качения опорного ролика;

$d_1=0,14$  м – средний диаметр подшипника в цапфе вала опорного ролика;

$D_1=0,55$  м – средний диаметр опорного ролика воронки по поверхности качения.

По формуле (2.3) найдём момент, затрачиваемый на преодоление сил сопротивления при вращении воронки по опорным роликам для коксового и рудного скипов:

$$M_{2K} = 0,018 * 1554 \frac{3,78}{2} = 53 \text{ кН*м}$$

$$M_{2K} = 0,018 * 665 \frac{3,78}{2} = 23 \text{ кН*м}$$

Момент на преодоление сопротивления сил трения в сальниковых уплотнениях воронки приближенно равен:

$$M_3 = P_1 * \mu_2 * \pi * D_5 * h \frac{D_5}{2}, \quad (2.9)$$

где  $P_1$  – давление сальниковой набивки на воронку, принимают в зависимости от давления газа  $P$  под колошником;

$\mu_2 = 0,05$  - коэффициент трения воронки о сальниковую набивку;

$h=0,6$  м – суммарная высота сальникового уплотнения воронки.

Давление сальниковой набивки на воронку равно:

$$P_1=1,2*P=1,2*2,5=3 \text{ МПа.}$$

$$M_3=300*0,05*3,14*3,08*0,6*\frac{3,08}{2}=134 \text{ кН*м.}$$

По формуле (2.1) найдём общий статический момент для скипов с рудой и коксом.

$$M_{\text{стк}}=17+53+134=204 \text{ кН*м,}$$

$$M_{\text{стр}}=17+23+134=174 \text{ кН*м.}$$

По полученным данным строим графики статических моментов для скипов с рудой и коксом.

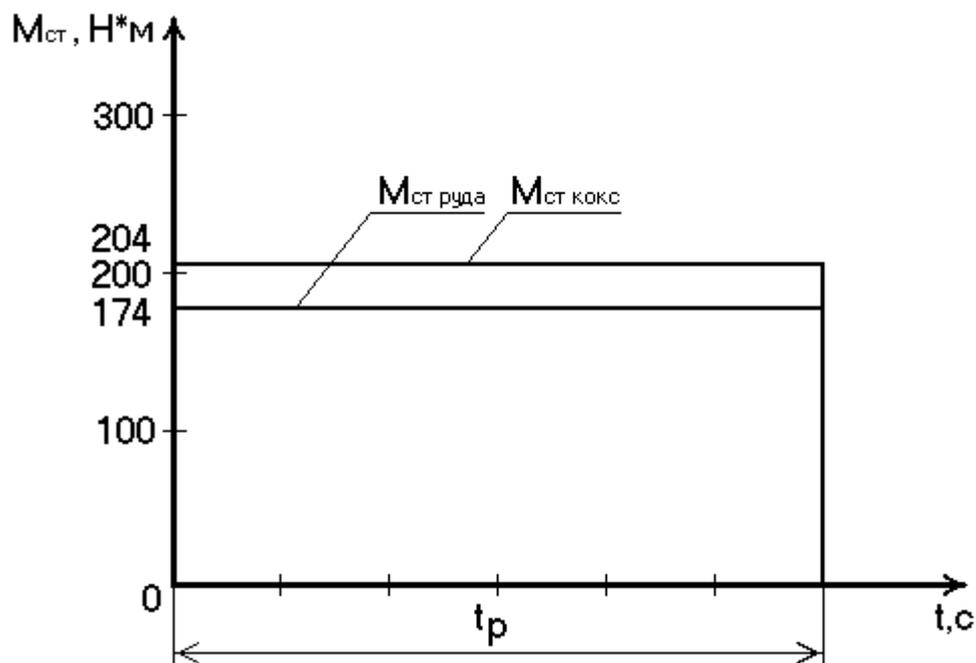


Рисунок 5-График статических моментов для скипов с коксом и рудой.

При этом  $t_p$  – время работы распределителя шихты.

$$T_p = t_y + t_n + t_T, \quad (2.10)$$

где  $t_y$  – время установившегося движения, определяется из условия поворота воронки на заданный угол;

$t_n = 2,5$  с – время пуска;

$t_T = 2,5$  с – время торможения.

Воронка распределителя шихты за полный цикл работы поворачивается на углы, равные 60, 120, 180 градусов. Время работы на установившейся частоты вращения воронки для заданных углов равно:

$$t_y = \frac{\varphi_i}{\omega_B} - \frac{1}{2}(t_n + t_T), \quad (2.11)$$

где  $\omega_B = 0,193$  с<sup>-1</sup> – установившаяся скорость вращения воронки;

$\varphi_i$  - угол поворота.

$$t_{y60} = \frac{1,047}{0,193} - \frac{1}{2}(2,5 + 2,5) = 3 \text{ с.}$$

$$t_{y120} = \frac{2,094}{0,193} - \frac{1}{2}(2,5 + 2,5) = 8 \text{ с.}$$

$$t_{y180} = \frac{3,14}{0,193} - \frac{1}{2}(2,5 + 2,5) = 14 \text{ с.}$$

По формуле (2.10) найдём время работы распределителя шихты для всех углов  $\varphi_i$ :

$$t_{p60} = 3 + 2,5 + 2,5 = 8 \text{ с.}$$

$$t_{p120} = 8 + 2,5 + 2,5 = 13 \text{ с.}$$

$$t_{p180} = 14 + 2,5 + 2,5 = 19 \text{ с.}$$

Найдём эквивалентную мощность (2.12)

$$P_{ЭК} = \sqrt{\frac{P_{СТP}^2 * t_{p60} + P_{СТK}^2 * t_{p60} + P_{СТP}^2 * t_{p120} + P_{СТK}^2 * t_{p120} + P_{СТP}^2 * t_{p180} + P_{СТK}^2 * t_{p180} * \frac{ПВ_{РАСЧ}}{ПВ_C}}{2 * t_{p60} + 2 * t_{p120} + 2 * t_{p180}}}$$

где  $P_{СТ}$  - статическая мощность;

$ПВ_{РАСЧ}$  - расчетная продолжительность включения;

$ПВ_C$  - стандартная продолжительность включения;

Статическая мощность определяется:

$$P_{CT} = \frac{M_{CT} * \omega_B}{1000 * \eta}, \quad (2.13)$$

где  $\eta$  - общий КПД механизма.

$$\eta = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 = 0,96 * 0,93 * 0,95 = 0,84, \quad (2.14)$$

где  $\eta_1 = 0,96$  – КПД закрытой цилиндрической передачи;

$\eta_2 = 0,93$  – КПД открытой цилиндрической передачи;

$\eta_3 = 0,95$  – КПД конической передачи.

По формуле (2.13) найдем статическую мощность для рудного и коксового скипов

$$P_{CTK} = \frac{204 * 0,193}{1000 * 0,84} = 47 \text{ кВт};$$

$$P_{CTP} = \frac{174 * 0,193}{1000 * 0,84} = 40 \text{ кВт}.$$

Определим расчетную продолжительность включения

$$PB_{PACЧ} = \frac{2t_{P60} + 2t_{P120} + t_{P180}}{2 * t_{P60} + 2t_{P120} + t_{P180} + 6t_{II}} = \frac{2 * 8 + 2 * 13 + 19}{2 * 8 + 2 * 13 + 19 + 5 * 45} = 21\%$$

где  $t_{II} = 45$ с – время паузы.

Из ближайшей стандартной продолжительности включения выбираем  $PB_C = 25\%$ .

По формуле (2.12) найдём эквивалентную мощность

$$P_{ЭК} = \sqrt{\frac{47^2 * 8 + 40^2 * 8 + 47^2 * 13 + 40^2 * 13 + 47^2 * 19}{2 * 8 + 2 * 13 + 19} * \frac{0,21}{0,25}} = 41 \text{ кВт}.$$

Найдем требуемую мощность двигателя с учетом коэффициента запаса:

$$P_{ДВ} = K_3 * P_{ЭК} = 1,3 * 41 = 53,3 \text{ кВт}.$$

Требуемая расчетная скорость электродвигателя

$$n_{дв.расч} = n_г * i_{ред.общ} = 3 * 291,375 = 874,125 \text{ об/мин}$$

$$\text{Или } \omega_{дв.расч} = \frac{\pi}{30} * n_{дв.расч} = 91,5 \text{ рад/с}.$$

Для типовых распределителей шихты используются электродвигатели краново-металлургической серии. По [13] выбираем двигатель Д-816. При таком выборе предполагается, что максимальная скорость вращения воронки

достигается при работе двигателя на скорости выше номинальной при повышенном напряжении якоря.

### **Справочные параметры двигателя Д-816**

- номинальная мощность  $P_H = 70$  кВт;
- номинальное напряжение питания  $U_H = 220$  В;
- номинальный ток  $I_H = 350$  А;
- номинальная частота вращения  $n_H = 535$  об/мин;
- максимальная допустимая частота вращения  $n_M = 1600$  об/мин;
- сопротивление якоря и добавочных полюсов (при  $15^\circ\text{C}$ )  $R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} = 0,084$  Ом;
- момент инерции  $J_{\text{дв}} = 16,25$  кг\*м<sup>2</sup>;
- режим работы с  $ПВ = 40\%$ ;
- кратность максимального тока к минимальному  $K_{\text{макс}} = 2,5$ ;
- номинальный момент двигателя  $M_H = 1246$  Н\*м.

### **2.1.1 Расчетные параметры электродвигателя**

Из условий технологического процесса работа вращающегося распределителя шихты по всем станциям не должна превышать 13 секунд. При повороте распределителя на углы  $60^\circ$  и  $120^\circ$  двигатель тихоходного исполнения при работе с номинальной скоростью удовлетворяет этому условию, но при повороте на  $180^\circ$  он не укладывается в требуемое время. В соответствии с [11] двигатели серии Д с номинальным напряжением 220 В допускают увеличение частоты вращения в 2 раза повышением напряжения на якоре до 440 В. При этом максимальный вращающий момент при полном возбуждении не должен превышать  $1,5 M_H$ .

Так как работа распределителя шихты характеризуется частыми пусками и остановками, то проверим выбранный электродвигатель на перегрузку в пусковой период.

Динамический момент на валу электродвигателя в режиме пуска.

$$M_{днн.,дв.,п} = (\delta_1 + \delta_2) \frac{J_{дв} * \omega_{дв}}{t_{п}}, \quad (2.15)$$

где  $J_{дв} = 16,25 \text{ кг*м}^2$  – момент инерции вала двигателя;

$\omega_{дв}$  - частота вращения якоря двигателя;

$\delta_1 = 1,2$  – коэффициент, учитывающий моменты инерции масс остальных вращающихся элементов привода;

$\delta_2 = 0,5$  – коэффициент, учитывающий момент инерции воронки распределителя;

$t_{п} = 2,5 \text{ с}$  – время пуска.

$$\omega_{дв} = \frac{2\pi * n_H}{60} = \frac{2 * 3,14 * 535}{60} = 56,175 \text{ с}^{-1}.$$

$$M_{днн.,дв.,п} = (1,2 + 0,5) * \frac{16,25 * 56,175}{2,5} = 621 \text{ Н*м}.$$

Общий максимальный момент с учетом максимального статического момента:

$$M = M_{днн.,дв.,п} + M_{ст,к}, \quad (2.16)$$

где  $M_{ст,к}$  - приведенный к валу двигателя статический момент для скипов с коксом.

$$M_{ст,к} = \frac{M_{ст,к}}{i * \eta}, \quad (2.17)$$

$$i = i_1 * i_2 * i_3 = 31,5 * 1 * 9,25 = 291,375,$$

где  $i$  - общее передаточное число механизма.

$i_1 = 31,5$  – передаточное число закрытой цилиндрической передачи;

$i_2 = 1$  – передаточное число закрытой конической передачи;

$i_3 = 9,25$  – передаточное число открытой цилиндрической передачи.

По (2.17) найдем приведенный к валу двигателя статический момент для скипов с коксом:

$$M_{ст,к} = \frac{204}{291,375 * 0,84} = 830 \text{ Н*м}.$$

По (2.16) найдем общий максимальный момент в период пуска:

$$M = 621,2 + 830 = 1451 \text{ Н*м}.$$

Коэффициент перегрузки электродвигателя в пусковом режиме:

$$\lambda = \frac{M}{M_H} = \frac{1451}{1246} = 1,16,$$

что ниже допустимого  $\lambda = 2,5$  для выбранного двигателя

Коэффициент ЭДС двигателя

$$c = \frac{U_n - I_n \cdot R_{\text{дв.зоп}}}{\omega_n} = \frac{220 - 350 \cdot 0,1159}{56} = 3,2 \text{ В*с/рад}$$

## 2.2 Механическая система электропривода

Механическая система одномассовая.

Структурная схема механической системы приведена на рисунке 6

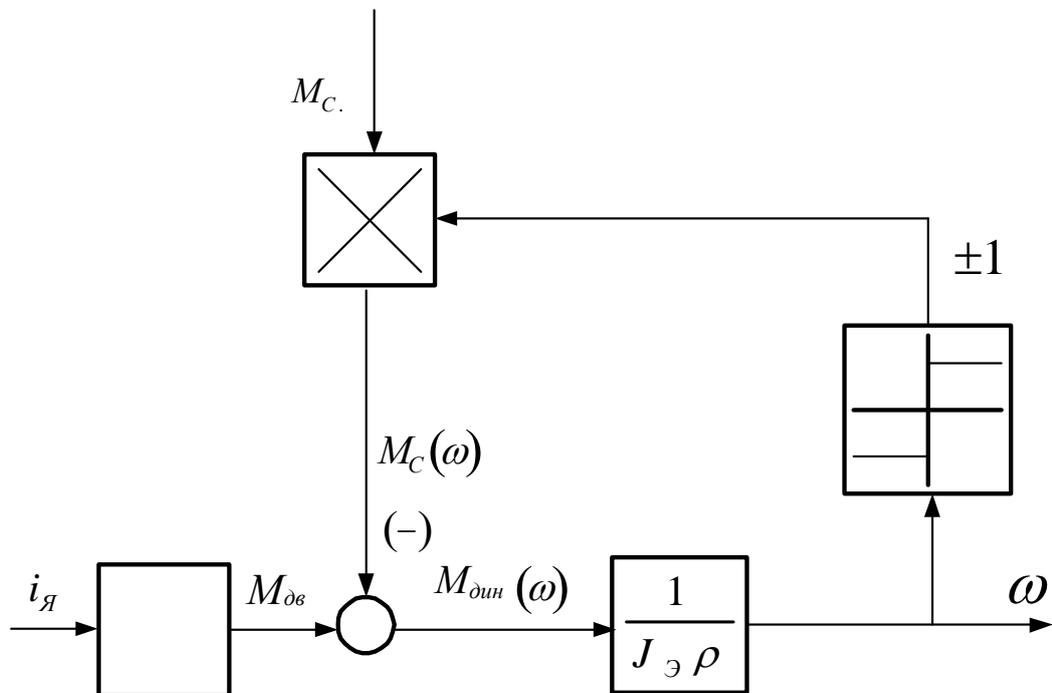


Рисунок 6 – Структурная схема механической системы электропривода

Параметры структурной схемы.

Эквивалентный момент инерции

$$J_э = 27,75 \text{ кг*м}^2.$$

Момент сопротивления от сил трения на валу двигателя

$$M_{\text{сдв}} = C \cdot I_{\text{двн}} - M_{\text{двн}} = 3,2 \cdot 350 - 1246 = 126 \text{ Н*м.}$$

Момент сопротивления механизма

$$M_{\text{смех}}=830 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

### 2.3 Выбор комплектного электропривода.

Основными техническими условиями, по которым выбирают комплектный тиристорный электропривод являются:

$$I_{\text{эпн}} \geq I_{\text{двном}} = 350 \text{ А};$$

$$I_{\text{ЭП,МАКС}} \geq I_{\text{ДВ,МАКС}} = 875 \text{ А};$$

$$U_{\text{ЭП,Н}} \geq U_{\text{ДВН}} \cdot 2 \cdot 220 = 440 \text{ В.}$$

Согласно проведенным расчетам в подразделе 2.1 и выбранному электродвигателю выбираем комплектный тиристорный электропривод типа КТЭ-500/440-131-УХЛ4.

Преобразователь имеет следующие технические данные:

- номинальный выпрямленный ток  $I_{\text{НОМ}} = 500 \text{ А};$
- номинальное напряжение электропривода  $U_{\text{НОМ}} = 440 \text{ В};$
- выпрямленное напряжение преобразователя  $U_{\text{ВЫПР}} = 460 \text{ В};$
- напряжение питания силовых цепей  $U_{\text{ПИТ}} = 380 \text{ В};$
- частота питающей сети  $f_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ Гц};$
- максимально допустимый выпрямленный ток  $I_{\text{ЭПМАКС}} = 1250 \text{ А}.$

Комплектный тиристорный электропривод КТЭ-500/440-131-УХЛ4 включает в себя:

- токоограничивающий реактор типа РТСТ-410-0,101У3;
- тиристоры типа Т253-1000;
- автоматический выключатель А3792 на стороне переменного напряжения;
- автоматический выключатель А3791 на стороне выпрямленного напряжения.

По [11] электродвигатели серии Д, при питании от тиристорного преобразователя по мостовой встречно-параллельной схеме выпрямления, допускают работу без сглаживающих реакторов, в результате чего они не входят в комплект тиристорного преобразователя.

Токоограничивающий реактор РТСТ-410-0,101УЗ включается на стороне переменного тока и имеет следующие параметры:

- номинальный фазный ток  $I_{p,H}=410$  А;
- номинальное линейное напряжение питающей сети  $U_{Л,Н}=410$  В;
- активное сопротивление обмотки  $R_p=3,8*10^{-3}$  Ом;
- индуктивность фазы реактора  $L_p=0,101*10^{-3}$  Гн.

Реактивное сопротивление фаз реактора

$$X_p = L_p * \omega_c = 314 * 0,101 * 10^{-3} = 0,032 \text{ Ом,}$$

$$\omega_c = 2 * \pi * f_{пит} = 2 * 3,14 * 50 = 314 \text{ с}^{-1} - \text{угловая частота питающей сети;}$$

## 2.4 Функциональная схема электропривода

Функциональная схема электропривода вращающегося распределителя шихты приведена на рисунке 7.

На рисунке приняты следующие обозначения:

ГР – гальваническая развязка;

ЗИЭ – задатчик интенсивности регулятора ЭДС;

РЭ – регулятор ЭДС;

ЗИТ – задатчик интенсивности регулятора тока;

РТА – адаптивный регулятор тока;

СИФУ – система импульсно-фазового управления;

ТМ – тиристорный преобразователь;

ЛТ – токоограничивающий реактор;

ДТ – датчик тока;

ДН – датчик напряжения;

ДЭ – датчик ЭДС;

SIMATIC – микроконтроллер.



Микроконтроллер SIMATIC S5 используется как ЭВМ верхнего уровня и выполняет следующие функции:

- обработку рабочей программы подач;
- подготовка информации для отображения технологического процесса хода загрузки и диагностики её выполнения (для операторских станций);
- расчёт углов поворота вращающегося распределителя шихты;
- подготовка блоков данных для последующей передачи их в операторские станции;
- обработка аналоговых сигналов;
- управление механизмами верхней загрузки;
- синхронизация работы верхней и нижней загрузки доменной печи;
- синхронизация работы механизмов верхней загрузки;
- настройка приводов подсистемы верхней загрузки;
- анализ работоспособности механизмов и датчиков;
- выдача управляющих команд в схемы приводов.

ГР – осуществляет гальваническую развязку между командоконтроллером и системой электропривода.

Напряжение задания управления поступает на вход регулятора ЭДС через датчик интенсивности ЭДС (ЗИЭ).

Выходной сигнал РЭ поступает на вход регулятора РТА через датчик интенсивности тока ЗИТ, позволяющий плавно регулировать темп нарастания тока в широких пределах. Адаптивное устройство позволяет линеаризовать структуру электропривода в режиме прерывистых токов, улучшая его динамические свойства.

Система импульсно-фазового управления СИФУ служит для преобразования управляющего напряжения в последовательность импульсов соответствующей фазы, подаваемых на управляющие электроды тиристорных силовых вентильных комплектов.

Датчики тока и напряжения предназначены для гальванической развязки силовых цепей и цепей управления, а также для измерения тока и напряжения на двигателе.

Тиристорный преобразователь ТМ, состоит из двух встречно включенных мостов, и получает питание от сети 380 В через автоматический выключатель Q1 и токоограничивающий реактор LT. На стороне постоянного тока защита осуществляется автоматическим выключателем Q2. Линейный контактор КМ служит для частой коммутации якорной цепи. Сигнал о токе якоря двигателя получают с шунта RS. Сигнал о напряжении на якоре двигателя через делитель напряжения снимают с силовой цепи.

## 2.5 Расчет параметров силовой цепи

Сопротивление якорной цепи двигателя в горячем состоянии

$$R_{дв,гор} = (R_{я} + R_{дп}) \cdot 1,38 = 0,084 \cdot 1,38 = 0,1159 \text{ Ом},$$

где  $R_{я} + R_{дп} = 0,084 \text{ Ом}$  - сопротивление обмоток якоря и добавочных полюсов в холодном состоянии.

Расчетное сопротивление якорной цепи

$$R_{яц} = R_{тп} + R_{цдв} = 0,0382 + 0,12749 = 0,16569 \text{ Ом},$$

Сопротивление и индуктивность цепи преобразователя

$$R_{тп} = 2 \cdot R_p + R_k = 2 \cdot 0,0038 + 0,0306 = 0,0382 \text{ Ом},$$

$$\text{где } R_k = \frac{m_B \cdot X_p}{2\pi} = \frac{6 \cdot 0,032}{2 \cdot 3,14} = 0,0306 \text{ Ом} - \text{сопротивление, вносимое за счет}$$

коммутации токов вентиляей.

где  $m_B = 6$  – число коммутаций.

Индуктивность якорной цепи

$$L_{тп} = 2 \cdot L_p = 2 \cdot 0,101 \cdot 10^{-3} = 0,202 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Сопротивление силовой цепи двигателя

$$R_{цдв} = R_{двгор} + 0,1 \cdot R_{двгор} = 0,1159 + 0,1 \cdot 0,1159 = 0,12749 \text{ Ом}$$

Индуктивность силовой цепи

$$L_{яц} = L_{ТП} + L_{ЦДВ} = 0,202 \cdot 10^{-3} + 0,00337 = 0,000357 \text{ Гн},$$

$$\text{где } L_{ЦДВ} = \gamma \frac{U_{ДВН}}{I_{ДН} \cdot \omega_H \cdot p} = 0,6 \cdot \frac{220}{350 \cdot 56 \cdot 2} = 0,00337 \text{ Гн-индуктивность дви-}$$

гателя;

$P = 2$  - число пар полюсов.

$\gamma = 0,6$  – коэффициент, зависящий от конструкции электродвигателя.

Электромагнитная постоянная силовой цепи

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{0,00357}{0,16569} = 0,022 \text{ с.}$$

## 2.6 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода (замкнутой системы), ограниченная значениями  $\varpi = \pm \varpi_{ЭП} = 91,5 \text{ рад/с}$  и зависимостью  $\pm I_{доп} = 875 \text{ А}$  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 при минимальном угле управления. При этом должны соблюдаться следующие условия: при пониженном напряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления электромеханическая характеристика разомкнутой системы должна быть расположена выше точки с координатами  $\varpi = \varpi_{ЭПМАКС} = 91,5 \text{ рад/с}$  и  $I = I_H = 350 \text{ А}$ , а при реверсировании электропривода должно обеспечиваться безопасное инвертирование при допустимом токе двигателя.

Значение минимального угла управления преобразователем  $\alpha_{МИН}$  в выпрямительном режиме [14]

$$\alpha_{\text{МИН}} = \arccos \frac{c * \varpi_{\text{МАКС}} + I_{\text{ЛДЫ}} * R_{\text{ЯЦ}}}{K_c * E_{d0}} = \arccos \frac{3,2 \cdot 91,5 + 350 \cdot 0,16569}{0,85 \cdot 514} = 36,59^\circ$$

где  $\varpi_{\text{МАКС}} = 91,5 \text{ с}^{-1}$  – максимальная частота вращения;

$I_{\text{ДВН}} = 350 \text{ А}$  – номинальный ток двигателя;

$K_c = 0,85$  – коэффициент, учитывающий заданное снижение напряжения сети;

$$E_{d0} = \frac{U_{2л}}{0,74} = \frac{380}{0,74} = 514 \text{ В-ЭДС преобразователя при угле управления}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

Принимаем  $\alpha_{\text{МИН}} = 30^\circ$ , что соответствует заводской уставке.

Предельная электромеханическая характеристика системы преобразователь-двигатель в выпрямленном режиме при  $\alpha_{\text{МИН}} = 30^\circ$

$$\varpi_{\text{МАКС}}(I_{\text{ДВ}}) = \frac{1}{c} (K_c * E_{d0} * \cos \alpha_{\text{МИН}} - R_{\text{ЯЦ}} * I_{\text{ДВ}}) = \frac{1}{3,2} (0,85 \cdot 514 \cdot \cos 30^\circ - 0,16569 \cdot I_{\text{ДВ}})$$

В таблицу 3 сведены результаты расчёта электромеханических характеристик.

Таблица 3

$\omega$ рад/с	118,2	73
$I_{\text{ДВ}}$	0	875

Характеристика при работе токопроводящей группы в режиме предельного инвертирования

$$\varpi_{\text{МАКС}}(I_{\text{ЭПМАКС}}) = \frac{1}{c} [K_c * E_{d0} * \cos \delta - (R_{\text{ТП}} - R_{\text{ЦДВ}}) * I_{\text{ЭПМАКС}}],$$

где  $\delta = \delta_1 + \delta_2 = 1,8^\circ + 3 = 4,8^\circ$ , принимаем  $\delta = 5^\circ$

$$\delta_1 = \frac{180 \cdot \varpi_c \cdot t_B}{\pi} = \frac{180 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{3,14} = 1,8 - \text{угол, соответствующий времени}$$

восстановления запирающих свойств вентиля при ( $t_B = 100 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ );

$\delta_2 = (2^0 - 3^0)$  - предельно допустимое значение асимметрии импульсов управления, принимаем  $\delta_2 = 3^0$

$$\varpi_{\text{МАКС}}(I_{\text{ЭПМАКС}}) = \frac{1}{3.2} [0.85 * 514 * \cos 5 - (0,0382 - 0.12749) * I_{\text{ЭПМАКС}}]$$

Результаты расчета сведены в таблицу 4

Таблица4

$\omega$ рад/с	136	111,6
$I_{\text{ДВ}}$	0	-875

Определим значение максимального угла управления из условий предельного безопасного инвертирования:

$$\alpha_{\text{МАКС}} = \arccos \left( \frac{2 \cdot R_{\text{ТП}} \cdot I_{\text{ЭПМАКС}}}{K_C \cdot E_{\text{д0}}} - \cos \delta \right) = \arccos \left( \frac{2 \cdot 0,0382 \cdot 875}{0,85 \cdot 514} - \cos 5^0 \right) = 147^0$$

Рассчитываем электромеханическую характеристику разомкнутой системы электропривода при работе преобразователя в инверторном режиме при угле  $\alpha_{\text{макс}} = 147^0$

$$\varpi_{\text{МАКС}}(I_{\text{ЭПМАКС}}) = \frac{1}{3.2} [0.85 * 514 * \cos 147^0 - 0,16569(-I_{\text{ЭПМАКС}})]$$

В таблицу5 сведены результаты расчёта электромеханических характеристик при работе преобразователя в инверторном режиме

Таблица5

$\omega$ рад/с	115	160
$I_{\text{ДВ}}$	0	-875

По данным таблиц строятся электромеханические характеристики системы преобразователь-двигатель (см. рисунок 8).

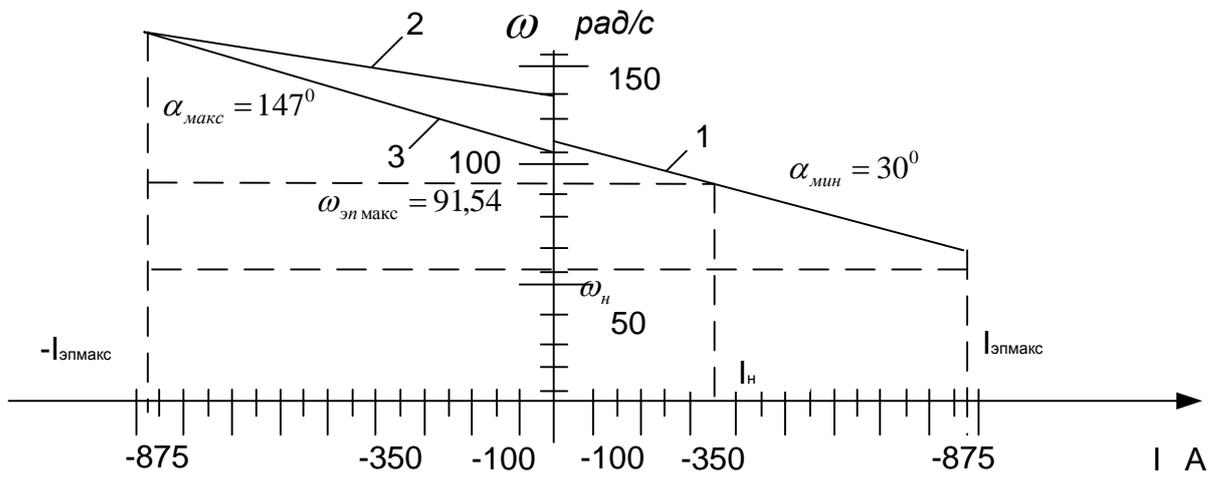


Рисунок 8 – электромеханические характеристики системы ТП-Д  
Электромеханические характеристики системы ТП – Д

## 2.8 Структурная схема силового канала электропривода

Структурная схема силового канала приведена на рисунке 12

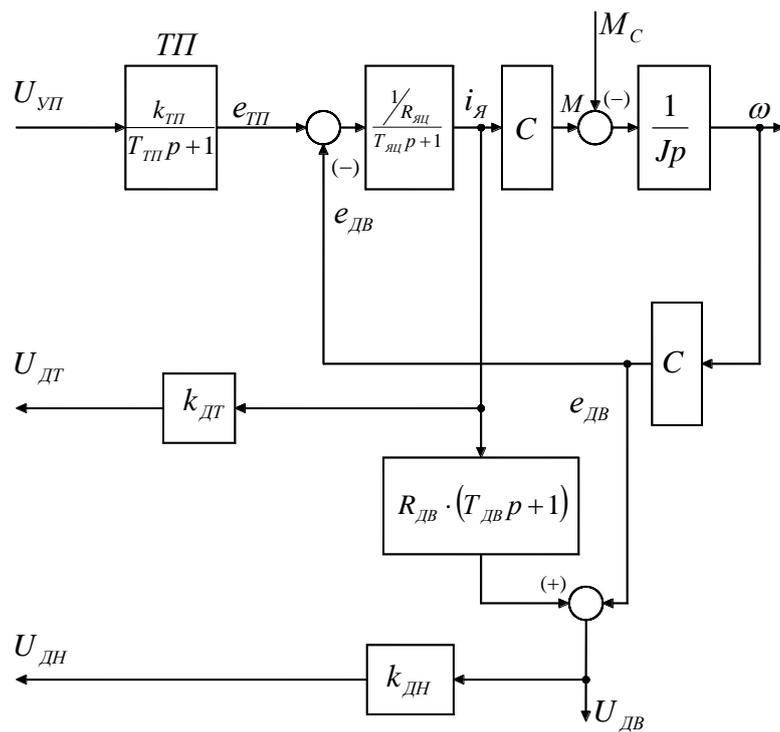


Рисунок 12 - Структурная схема силового канала  
Параметры элементов схемы приведены в таблице 8

Таблица8 – Расчетные значения параметров

К <sub>ТП</sub>	Т <sub>ТП</sub> с	Р <sub>яц</sub> Ом	Т <sub>яц</sub> С	С	J кг•м <sup>2</sup>	Р <sub>дв</sub> Ом	Т <sub>дв</sub> С	К <sub>дт</sub> В/А	К <sub>дн</sub>
76,66	0,00167	0,16569	0,022	3,2	27,75	0,1159	0,029	0,01	0,02

Коэффициент передачи датчика тока

$$K_{дт} = \frac{U_{дтМАКС}}{I_{МАКС}} = \frac{10}{1000} = 0,01 \text{ В/А},$$

где  $U_{дтМАКС}=10 \text{ В}$  – максимальное значение выходного напряжения;

$I_{МАКС}=1000 \text{ А}$  – максимальное значение измеряемого тока.

Коэффициент передачи датчика напряжения

$$K_{дн} = \frac{U_{днМАКС}}{U_{МАКС}} = \frac{10}{500} = 0,02 ,$$

где  $U_{днМАКС}=10 \text{ В}$  – максимальное значение выходного напряжения;

$U_{МАКС}=500 \text{ В}$  – максимальное значение измеряемого напряжения.

## 2.9 Структурная схема электропривода вращающегося распределителя шихты

Структурная схема электропривода приведена на рисунке13.

Структурная схема представляет собой САУ, реализованную по двухконтурной структуре: внутренний контур тока с пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором, внешний контур ЭДС с пропорциональным (П) регулятором.

Передаточная функция П-регулятора ЭДС

$$W_{(p)рэ} = K_{рэ},$$

где  $K_{рэ}$  – коэффициент усиления регулятора ЭДС

Передаточная функция входного фильтра

$$W(p)\phi = \frac{1}{T\phi 2p+1},$$

где  $T\phi 2$  – постоянная времени фильтра.

Передаточная функция ПИ – регулятора тока

$$W(p)pt = K_{рт} \frac{T_{рт}p + 1}{T_{рт}},$$

где  $K_{рт}$  – коэффициент усиления регулятора тока;

$T_{рт}$  – постоянная времени регулятора тока.

Помимо выражений приведённых в передаточных функциях в структурной схеме приняты обозначения:

$D_{э}$  – датчик ЭДС;

$K_{дн}$  – коэффициент датчика напряжения;

$K_{дэ}$  – коэффициент датчика ЭДС;

$T_{фп}$  – постоянная времени фильтра в обратной связи по ЭДС;

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

$K_{дт}$  – коэффициент датчика тока;

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

$J_{э}$  – момент инерции приведённый к валу двигателя;

$C$  – коэффициент ЭДС и момента двигателя;

$M_c$  – статический момент нагрузки;

В общем случае в схеме имеют место задатчики интенсивности:

ЗИС – задатчик интенсивности скорости;

ЗИТ – задатчик интенсивности тока.

Необходимость и параметры которых будут определены при анализе нелинейных САУ электропривода.

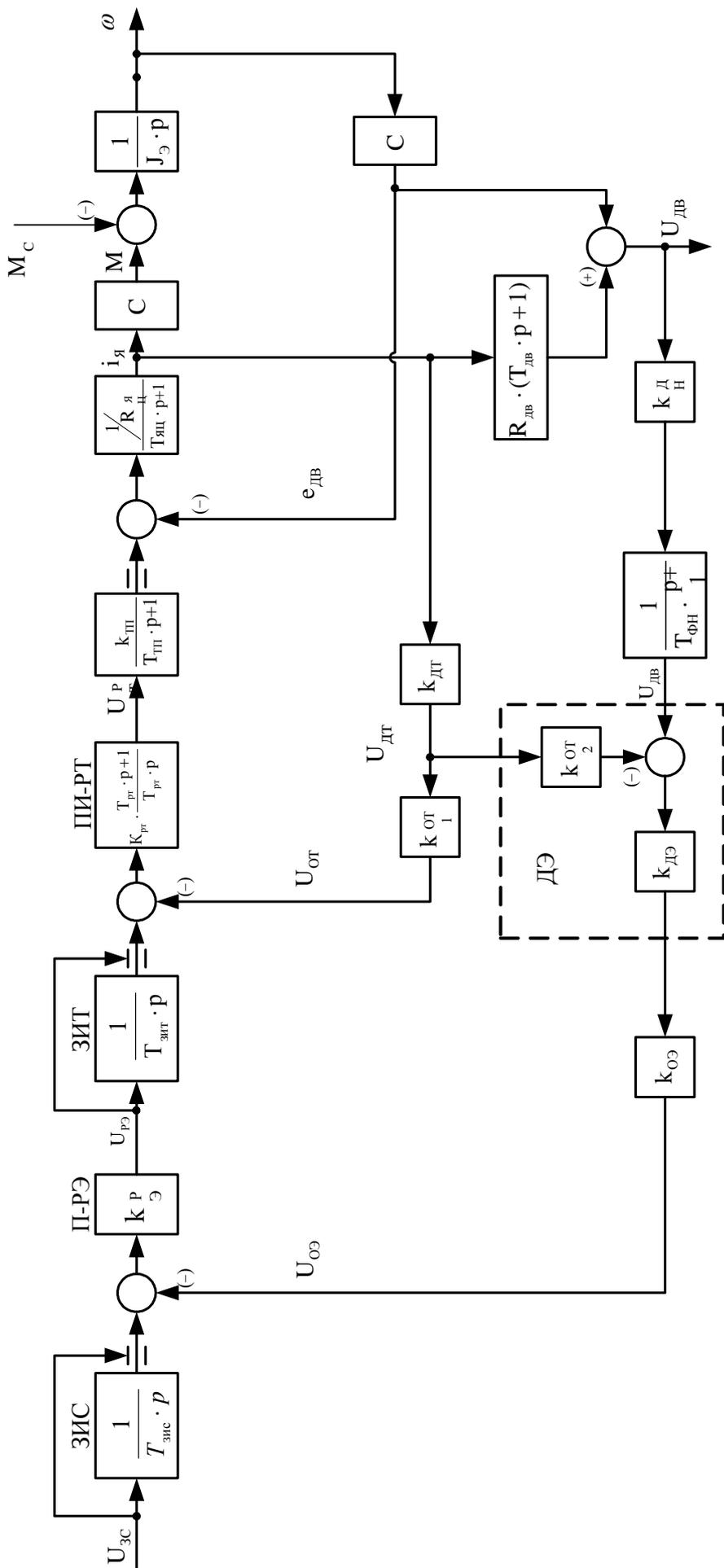


Рисунок -13-Структурная схема электропривода вращающегося распределителя шихты

## 2.10 Синтез системы автоматического управления электроприводом

Задача синтеза системы автоматического управления следящим электроприводом (САУ ЭП) является в первую очередь задачей динамического синтеза, под которой понимается определение параметров элементов, обеспечивающих требуемые динамические свойства всей системы.

Механика синтеза многоконтурных САУ РЭП хорошо разработана для линейных систем. Методика основана на связи показателей качества САУ с формой логарифмических частотных характеристик (ЛУХ) разомкнутой системы. Оптимизация допускается за счет приведения асимптотической логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) разомкнутых контуров положения, скорости и тока к рекомендуемому виду. На рисунке 14 изображена структурная схема линейризованной САУ РЭП.

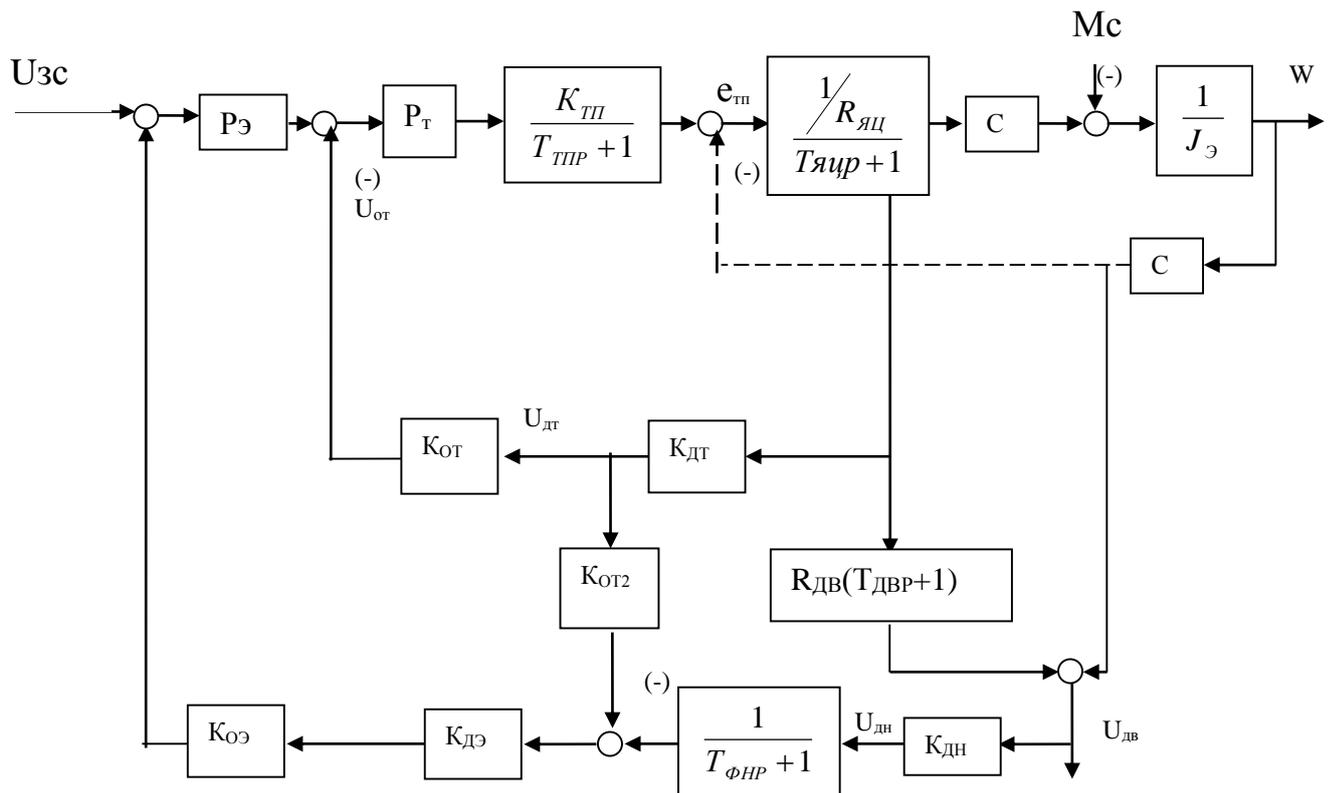


Рисунок 14 – Структурная схема линейризованной САУ РЭП

### Линейризованная структура САУ РЭП

В электроприводах, к статическим и динамическим характеристикам которых не предъявляются высокие требования, вместо обратной по скорости

используется обратная связь по ЭДС двигателя. Применение обратных связей по ЭДС позволяет избежать трудностей, связанных с измерением скорости при помощи тахогенератора. Широкому распространению структур с обратными связями по ЭДС, способствует простота и надежность в эксплуатации, возможность токоограничения путем ограничения напряжения регулятора ЭДС.

Структура САУ вращающегося распределителя шихты представляет собой двухконтурную систему подчиненного регулирования с П - регулятором ЭДС и ПИ - регулятором тока (однократно - интегрирующая система), которая характеризуется значительной погрешностью скорости.

### Оптимизация контура тока

Оптимизация контура тока осуществляется без учета отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем. Структурная схема контура приведена на рисунке 15.

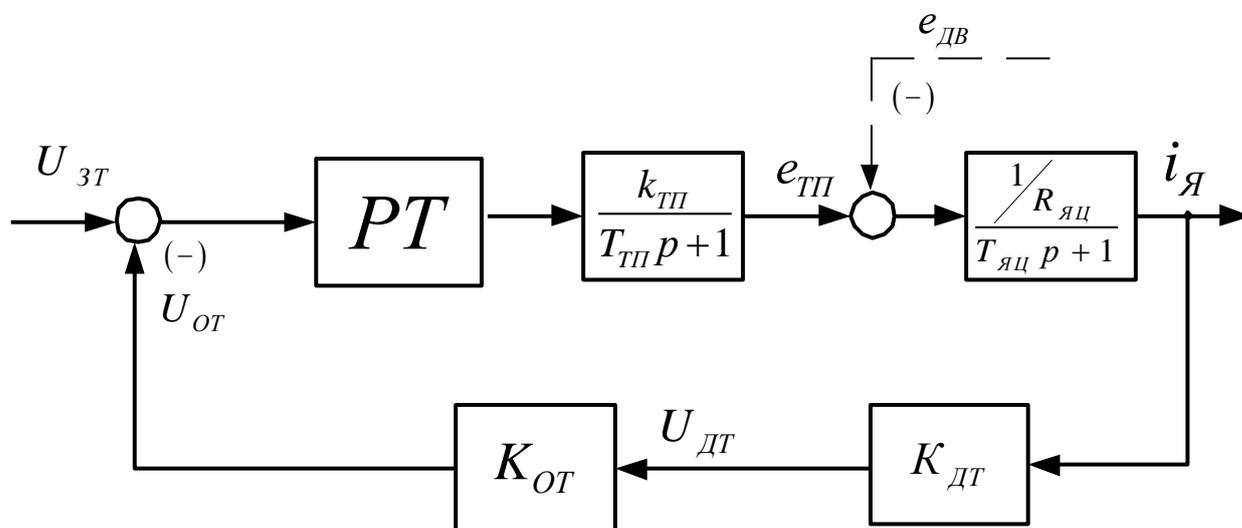


Рисунок 15 – Структурная схема контура регулирования тока

Контур содержит инерционных звена первого порядка с постоянными времени  $T_{яц} = 0,022$  с и  $T_{ТП} = 0,00167$  с.

Отношение  $\frac{T_{ЯЦ}}{T_{ПТ}} = \frac{0,022}{0,00167}$  – значительно больше единицы, а следовательно

принимаем  $T_{\mu T} = T_{ПТ} = T_2 = 0,00167$  с - эквивалентная малая постоянная времени контура тока;

$T_{РТ} = T_{ЯЦ} = 0,022$  с - большая постоянная контура тока, которую следует компенсировать.

Контур тока настраиваем на модульный оптимум (МО), с учетом параметров контура выбираем ПИ-регулятор с передаточной функцией

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

$$\text{где } K_{PT} = \frac{T_{ЯЦ} \cdot R_{ЯЦ}}{K_{ПТ} \cdot K_T \cdot a_T \cdot T_{\mu T}} = \frac{0,022 \cdot 0,16569}{76,66 \cdot 0,0114 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 1,24$$

$a_T = 2$  - коэффициент оптимизации контура тока по МО;

$$K_T = \frac{U_{ЭТ MAX}}{I_{ЭП MAX}} = \frac{10}{875} = 0,0114 \text{ В/А} - \text{коэффициент обратной связи по току.}$$

$$K_{OT} = \frac{K_T}{K_{ДТ}} = \frac{0,0114}{0,01} = 1,14 - \text{коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ.}$$

Влияние ЭДС двигателя на работу тока оценивается отношением постоянных времени

$$\frac{T_M}{T_{ЯЦ}} = \frac{0,446}{0,022} = 45,$$

$$\text{где } T_M = \frac{J_{\text{Э}} \cdot R_{ЯЦ}}{c^2} = \frac{27,625 \cdot 0,16569}{3,2^2} = 0,446 \text{ с} - \text{электромеханическая постоянная}$$

времени привода.

В нашем случае это отношение больше единицы, и, значит влияние ЭДС практически не будет проявляться.

Передаточная функция замкнутого оптимизированного контура тока

$$W(p)_{T.ЗAM} = \frac{\frac{1}{K_T}}{\alpha_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot (T_{\mu T} \cdot p + 1) + 1} = \frac{\frac{1}{K_T}}{\alpha_T \cdot T_{\mu T}^2 p^2 + \alpha_T \cdot T_{\mu T} p + 1} = \frac{8}{0,000011p^2 + 0,0034p + 1} \cdot$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$\sigma = 4,3\%$  – перерегулирование,

$t_{PY1}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu T}$  – время первого согласования, с,

$t_{PY2}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu T}$  – время переходного процесса, с,

$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0,71}{T_{\mu T}}$  рад/с – полоса пропускания по модулю и фазе.

Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура тока приведены на рисунке 16.

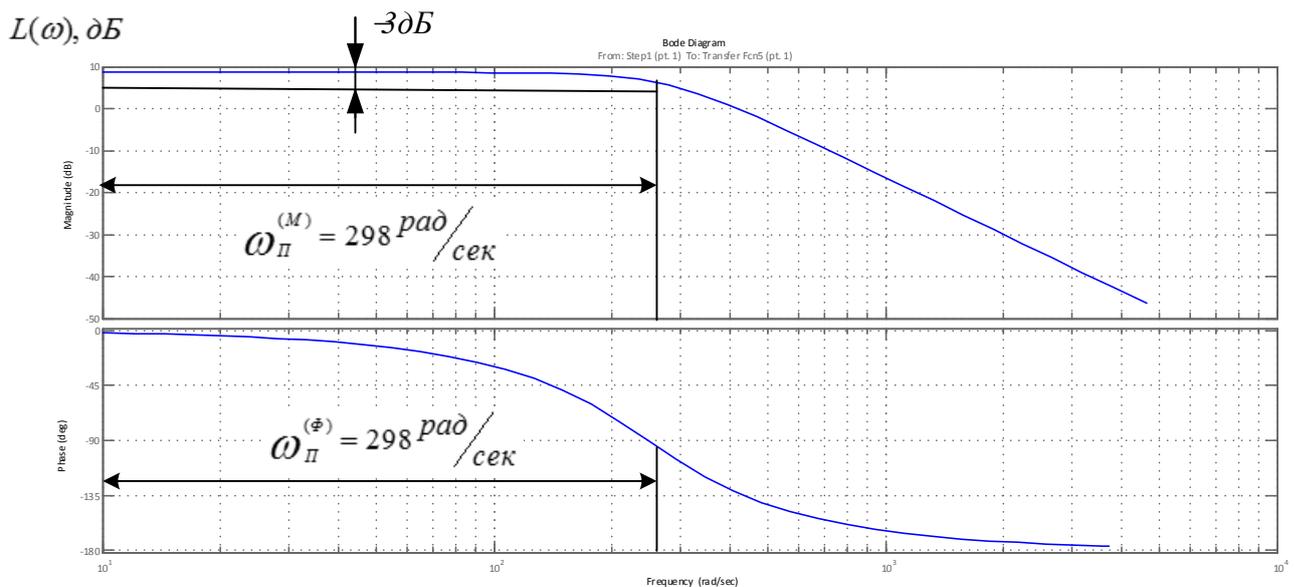


Рисунок 16-Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура тока.

### Оптимизация контура ЭДС

При отсутствии высоких требований к точности, поддержания скорости для электроприводов без регулирования потока возбуждения 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 17.

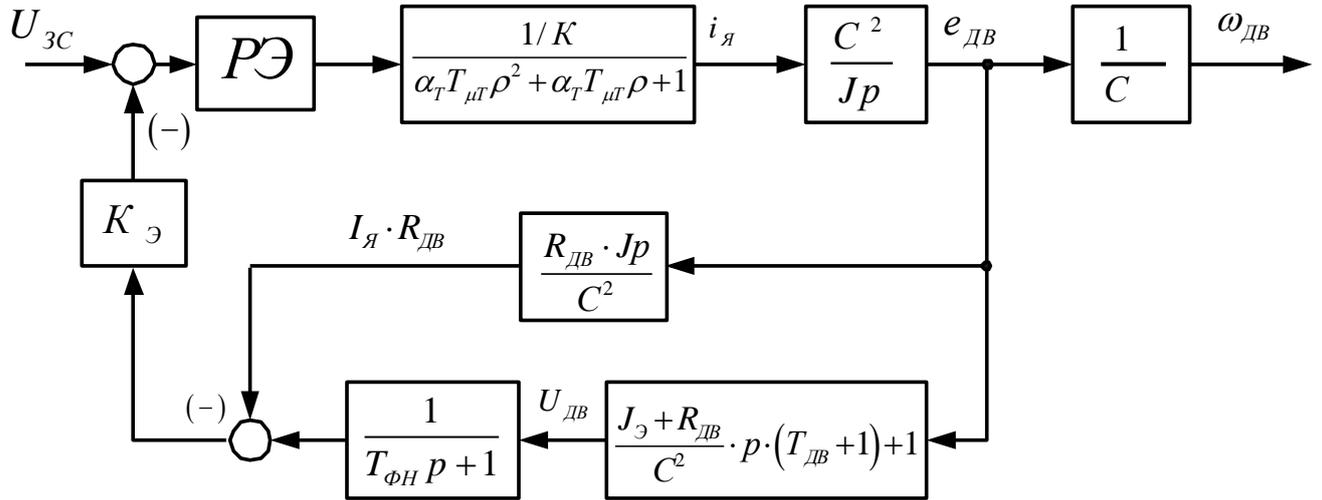


Рисунок17 - Структурная схема контура ЭДС.

Если в структурной схеме рисунке 17 замкнутый контур тока описать усеченной передаточной функцией и при настройке контура выполнить условие

$$\kappa_{от_2} = \frac{R_{ДВ} \cdot \kappa_{ДН}}{\kappa_{ДТ}} = \frac{0,1159 \cdot 0,02}{0,01} = 0,23,$$

то она преобразуется к виду, показанному на рисунке18.

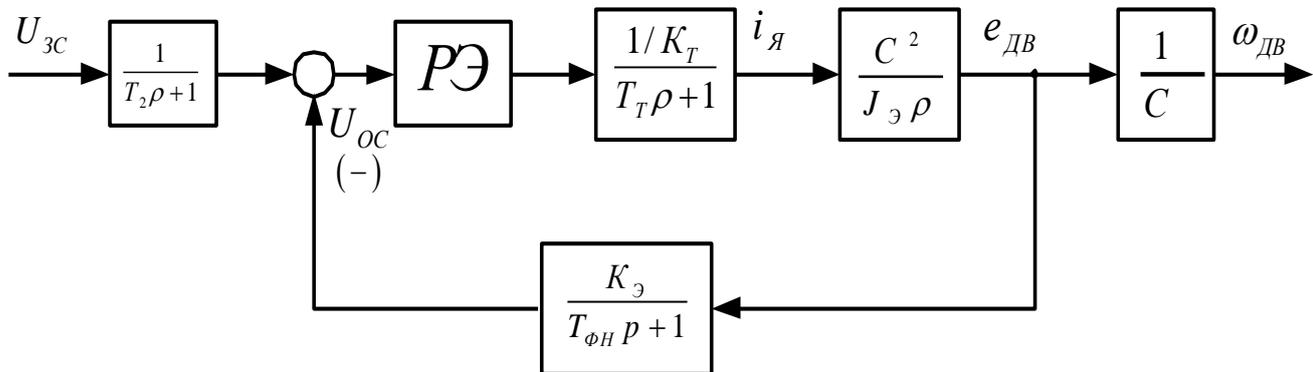


Рисунок 18 Структурная схема линеаризованный САУ с обратной связью.

Наличие апериодического звена в цепи обратной связи вызывает необходимость включения на входе системы такого же звена при  $T_{ФН} = T_{ДВ}$  для исключения повышенного перегулирования тока при обработке управляющего воздействия.

Поскольку в контуре ЭДС имеется интегрирующее звено, то его можно оптимизировать по техническому (модульному) оптимуму применив П – регулятор с передаточной функцией

$$W(\rho)_{PЭ} = K_{PЭ},$$

где

$$K_{PЭ} = \frac{J_{Э} \cdot K_T}{K_{Э} \cdot C^2 \cdot \alpha_{Э} \cdot T_{\muЭ}} = \frac{27,625 \cdot 0,0114}{0,034 \cdot 3,2^2 \cdot 2 \cdot 0,03067} = 15$$

– коэффициент усиления регулятора ЭДС;

$$K_{Э} = \frac{U_{3.МАКС}}{E_{ДВ.МАКС}} = \frac{10}{294} = 0,034 \text{ – коэффициент обратной связи по ЭДС;}$$

$T_{\muЭ} = T_T + T_{ФН} = 0,00334 + 0,029 = 0,03067$  – малая постоянная времени контура ЭДС

$$T_T = \alpha_T \cdot T_{\muГ} = \alpha_T \cdot T_{III} = 2 \cdot 0,00167 = 0,00334 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока;

$\alpha_{Э}=2$  – коэффициент оптимизации по МО контура ЭДС;

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи регулятора ЭДС

$$K_{ОЭ} = \frac{K_{Э}}{K_{ДЭ} \cdot K_{ДН}} = \frac{0,034}{1 \cdot 0,02} = 1,7.$$

где  $K_{ДЭ} = 1$  – коэффициент передачи датчика ЭДС.

Передаточная функция замкнутого контура ЭДС, записанная относительно выходной координаты  $\omega$ .

$$W(p)_{У.ЗАМ} = \frac{1}{K_{Э} \cdot C} \cdot \frac{1}{\alpha_{Э} \cdot T_{\muЭ} \cdot p \cdot (T_T \rho + 1) \cdot (T_{ФН} \rho + 1)} = \frac{1}{K_{Э} \cdot C} \cdot \frac{1}{0,034 \cdot 3,2} = \frac{9,19}{\alpha_{Э} \cdot T_{\muЭ} \rho [(T_T + T_{ФН}) \rho + 1] + 1} = \frac{9,19}{2 \cdot 0,3067^2 \cdot \rho^2 + 2 \cdot 0,03067 \cdot \rho + 1} = \frac{9,19}{\rho^2 + 0,06134 \rho + 1}.$$

Из за наличия в системе некомпенсированной постоянной времени  $T_{ДВ}$ , быстродействие и статическая точность регулирования системы с обратной связью по

ЭДС в  $\left( \frac{T_T + T_{ДВ}}{T_T} \right)$  раз (при прочих равных условиях) меньше, чем в системе с

обратной связью по скорости. Динамические и статические показатели системы

с обратной связью по ЭДС будут тем ближе к показателям системы с обратной связью по скорости, чем меньше величина  $T_{дв}$ .

Логарифмические частотные характеристики линеаризованной САУ электропривода, рассчитаны с применением прикладной программы LACH, представлены на рисунке 19.

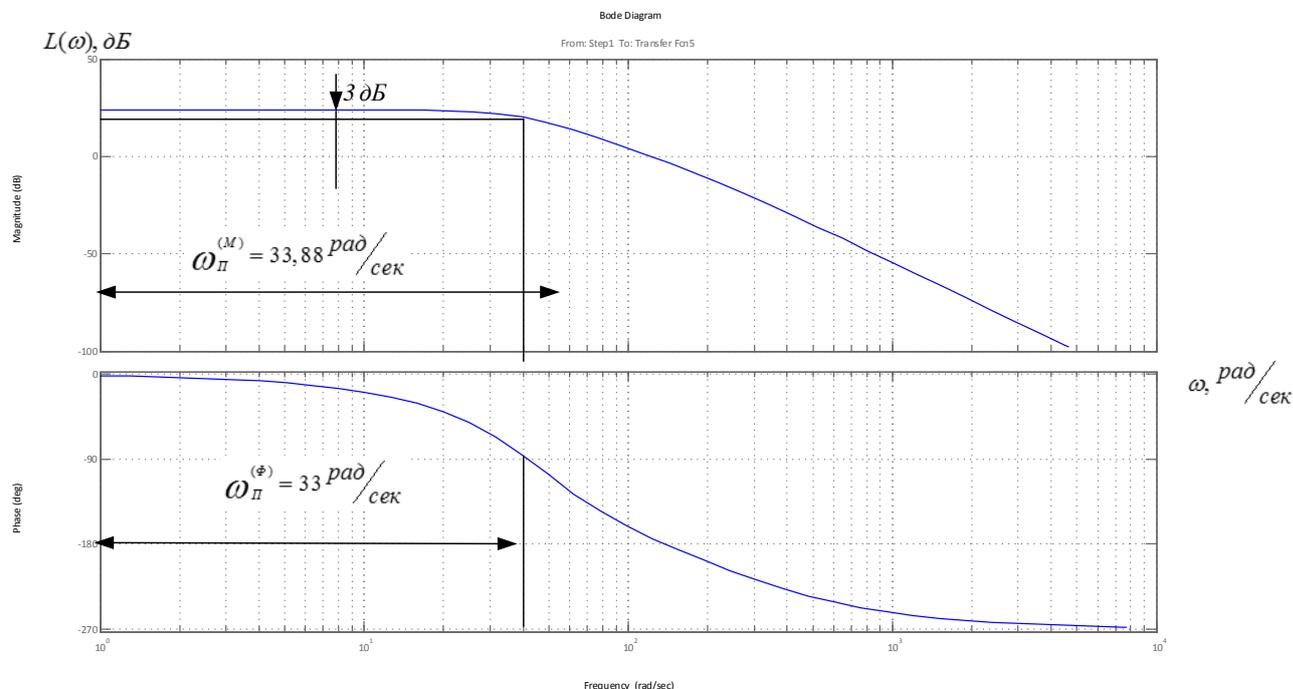


Рисунок19 –ЛЧХ замкнутого контура ЭДС по управлению

## 2.11 Структурная схема нелинейной САУ электропривода

Основные нелинейности САУ электропривода привода, которые будут влиять на работу при обработке средних и больших выходных заданий:

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

На рисунке20 приведена структурная схема нелинейной САУ электропривода.



Напряжение насыщения регуляторов принимаем на уровне  $\pm 10$  В.

Ограничение тока электропривода осуществляется ограничением выходного напряжения регулятора РЭ

$$U_{РЭ} = K_T \cdot I_{ЭПМАКС} = 0,0114 \cdot 875 = 9,975 \text{ В.}$$

Максимальное значение ЭДС преобразователя определяется минимальным углом управления

$$E_{ТПМАКС} = E_{д0} \cdot \cos \alpha_{МИН} = 514 \cdot 0,8657 = 445 \text{ В.}$$

Характер нагрузки – реактивный, величина момента полезной нагрузки мало изменяется. Параметры элементов структурной схемы приведены в таблице 9

Таблица 9 – Параметры элементов структурной схемы

$T_2$	$K_{РЭ}$	$K_{РТ}$	$T_{РТ}$	$K_{ТП}$	$T_{ТП}$	$1/R_{яц}$	$R_{яц}$	$T_{яц}$	$C$	$K_{ОТ2}$
с			с		с		Ом	с	$\frac{В \cdot с}{рад}$	
0,0016 7	15	1,2 4	0,022	76,6 6	0,0016 7	6,04	0,16569	0,02 2	3,2	0,23

Продолжение таблицы 9

$J$	$R_{ДВ}$	$T_{ДВ}$	$K_{ДТ}$	$K_{ДН}$	$T_{ФН}$	$K_{ДЭ}$	$K_{ОЭ}$	$K_{ОТ}$	$E_{ТПМАКС}$
кг · м <sup>2</sup>	Ом	с							В
27,75	0,1159	0,029	0,01	0,02	0,029	1	1,7	1,14	445

## 2.11. Расчет переходных процессов в нелинейной САУ РЭП

Переходные процессы рассчитываются и строятся методом имитационного моделирования при помощи программ Матлаб, где тиристорный преобразователь представлен непрерывным звеном и REPSEP–2, которая позволяет учитывать дискретность тиристорного преобразователя. Полный перечень параметров, вводимых в программу REPSEP–2, приведен в приложении А.

На рисунках 21 и 22 представлены графики переходных процессов без задатчиков интенсивности в цепи управления. Тиристорный преобразователь представлен непрерывным устройством.

Анализируя графики можно сказать следующее, что в системе отсутствует колебательность. Ограничение тока происходит на уровне 875 А.

Для повышения и регулирования плавности протекания переходных процессов в электроприводе введен задатчик интенсивности скорости ЗИС, а для уменьшения скорости нарастания тока-задатчик интенсивности тока ЗИТ. В результате чего при использовании задатчиков интенсивности время переходного процесса увеличилось, но достигается требуемая плавность пуска механизма. Графики переходных процессов с задатчиками скорости и тока приведены на рисунке 23.

На рисунках 24, 25 приведены переходные характеристики в нелинейной САУ РЭП с тиристорным преобразователем, представленным дискретным устройством. При этом переходные процессы не отличаются от переходных процессов, которые происходят в системе с непрерывным преобразователем.

Для моделирования типовых элементов движения цикла работы механизма произведено моделирование с использованием программы Матлаб. Схема набора модели приведена в приложении В. Переходные процессы, полученные с помощью моделирования в среде Матлаб приведены на рисунке 26.

Таким образом, спроектированный электропривод обеспечивает следующие показатели качества :

- плавный пуск;
- отсутствия перерегулирование  $\delta = 0\%$ .

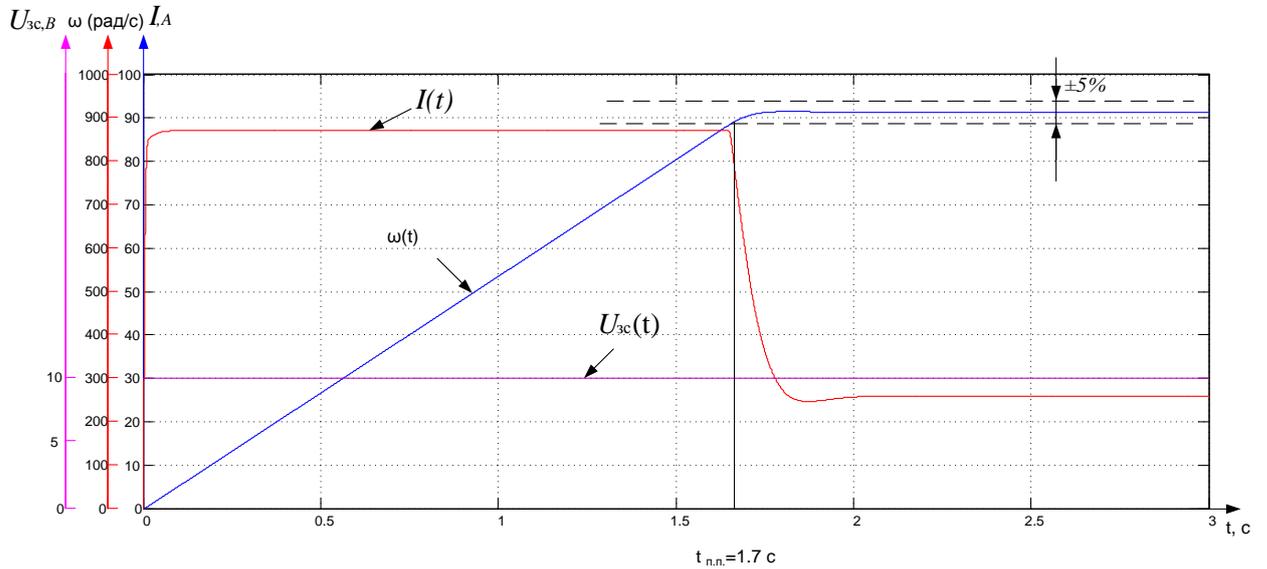


Рисунок 21 – Переходные процессы в нелинейной САУ РЭП без задатчика интенсивности в цепи управления  $U_{баз}=10В$ .

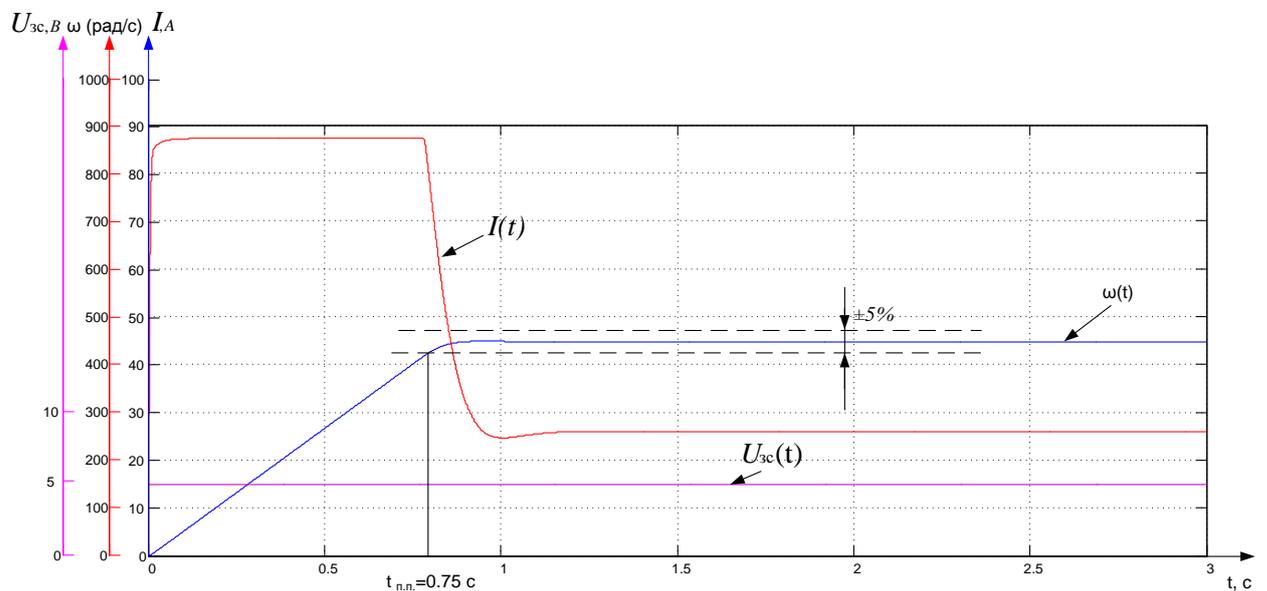


Рисунок 22- Переходные процессы в нелинейной САУ РЭП без задатчика интенсивности в цепи управления  $U_{баз}=5В$ .

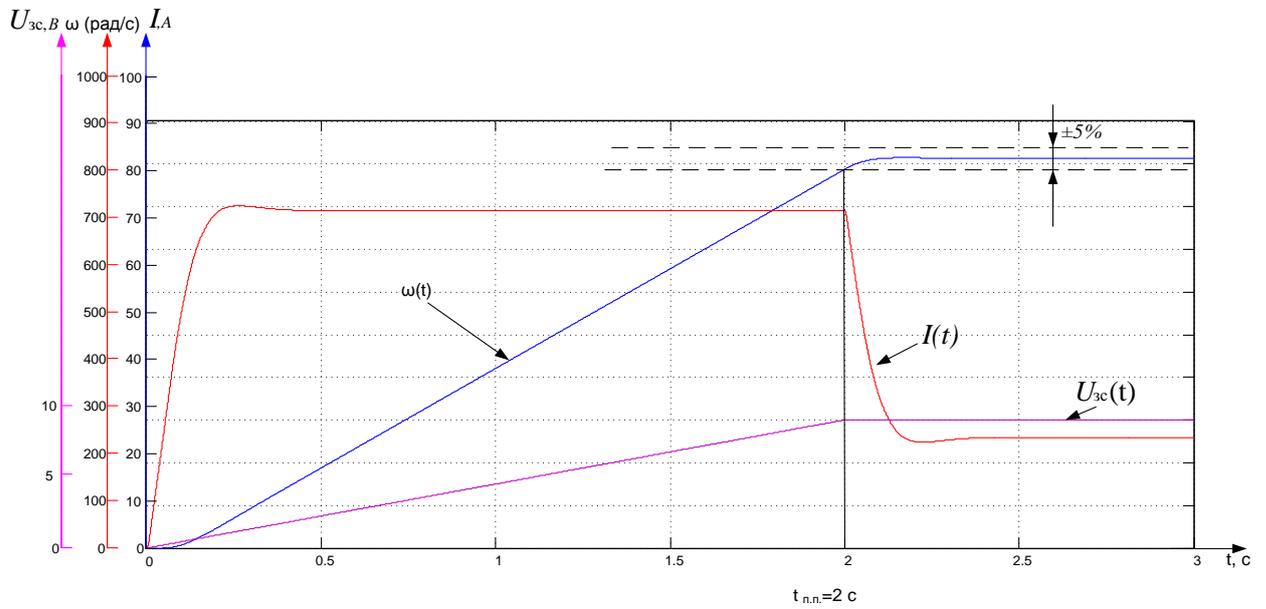


Рисунок 23- переходные процессы в нелинейной САУ РЭП с задатчиком интенсивности в цепи управления  $U_{баз} = 10$  В.

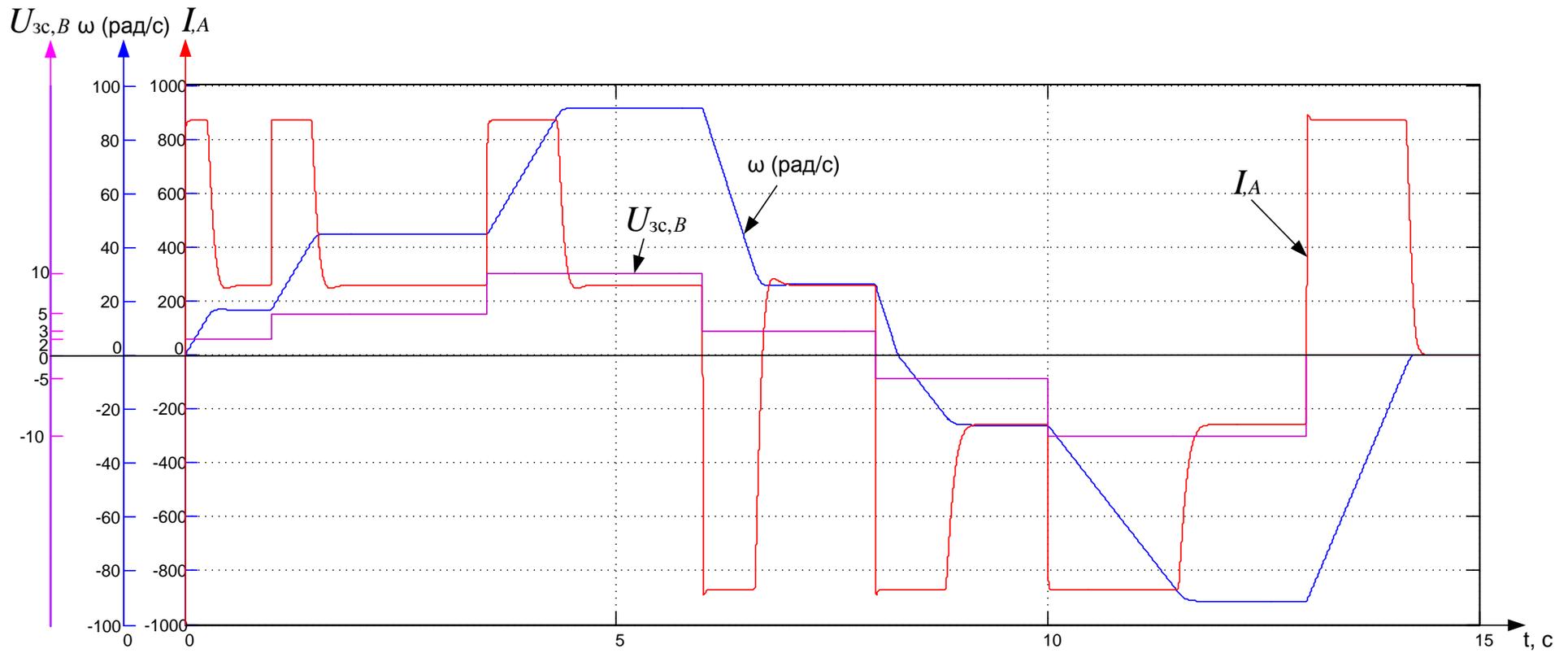


Рисунок26 – Диаграмма работы вращающегося распределителя шихты

## 2.12 Расчет статических электромеханических характеристик

Приводной двигатель ВРШ управляется по цепи обмотки якоря регулированием напряжения при постоянном потоке, следовательно, механические и электромеханические характеристики привода совпадают. Механические характеристики при различном напряжении на якоре двигателя представлены на рисунке 31.

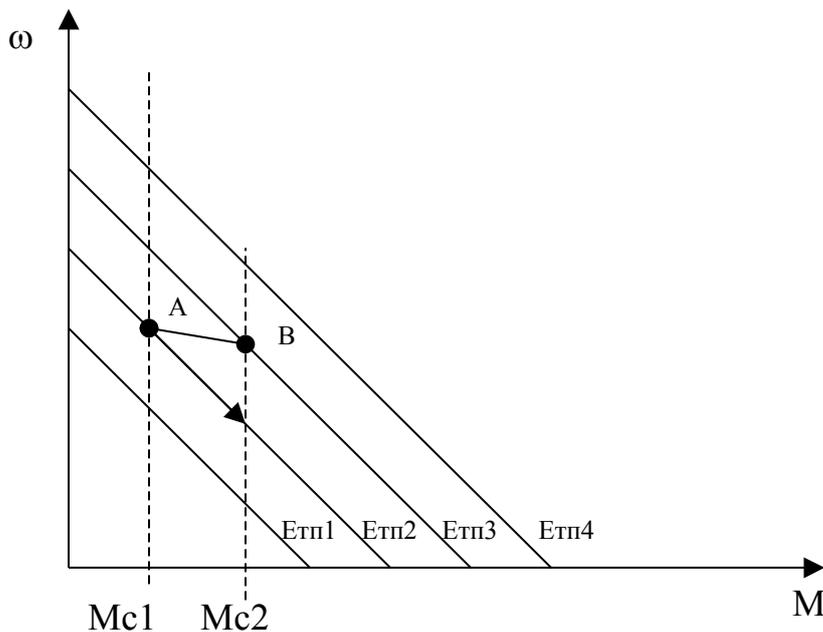


Рисунок 30 - Механические характеристики электродвигателя при регулировании напряжения на якоре

Предположим что двигатель работает на характеристике  $E_{тп2} = \text{const}$  с нагрузкой  $M_{с1}$ , в точке А. Предположим, также, что нагрузка возросла и стала равной  $M_{с2}$ . В первый момент скорость двигателя падает. Уменьшается сигнал пропорциональный ЭДС двигателя ( $E_{дв.}$ ), так как:

$$E_{дв.} = C * \omega$$

где:  $C$  – коэффициент ЭДС и электромагнитного момента двигателя;

$\omega$  - угловая скорость двигателя.

В реальном электроприводе сигнал пропорциональный ЭДС двигателя формируется более сложно, с помощью двух датчиков – напряжения якоря двигателя и тока якоря двигателя. Однако в любом случае если система

настроена правильно сигнал по ЭДС двигателя, при постоянном потоке, пропорционален скорости двигателя.

Если в первом приближении не учитывать сигнал обратной связи по току ( $U_{от}$ ), действующий на вход регулятора тока, то ЭДС тиристорного преобразователя ( $E_{тп}$ ) можно определить:

$$E_{тп} = (U_{зс} - U_{оэ}) * K_{рэ} * K_{рт} * K_{тп}$$

где:  $K_{рэ}$  – коэффициент передачи регулятора ЭДС;

$K_{рт}$  - коэффициент передачи регулятора тока (для ПИ регулятора, в статике, равен собственному коэффициенту усиления операционного усилителя);

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

$U_{зс}$  – напряжение задания скорости;

$U_{оэ}$  – напряжение обратной связи по ЭДС.

Как следует из (2) уменьшение сигнала обратной связи по ЭДС приводит к увеличению ЭДС тиристорного преобразователя. Привод переходит на характеристику  $E_{тп3}$  в точку В, и т.д. В результате формируется характеристика замкнутой системы более жесткая, чем характеристики разомкнутой системы.

Для вывода уравнения электромеханической характеристики электропривода составим систему уравнений, которые описывают электропривод в статике :

$$U_{урэ} = U_{зс} - U_{оэ};$$

$$U_{оэ} = (U_{дв} * K_{дн} - K_{дт} * K_{от2} * I_{дв}) * K_{дэ} * K_{оэ};$$

$$U_{рэ} = K_{рэ} * U_{урэ};$$

$$U_{урт} = U_{рэ} - U_{от};$$

$$U_{от} = K_{дт} * K_{от} * I_{дв};$$

$$U_{рт} = K_{рт} * U_{урт};$$

$$E_{тп} = K_{тп} U_{рт}; \quad U_{тп} = E_{тп} - I_{дв} * R_{тп};$$

$$U_{тп} = U_{дв};$$

$$U_{дв} = E_{дв} + I_{дв} * R_{дв},$$

где:  $U_{урэ}$  – напряжение управления регулятора ЭДС;

$K_{дт}$  – коэффициент передачи датчика тока;

$K_{от2}$  – коэффициент обратной связи по току в контуре регулятора ЭДС;

$I_{дв}$  – ток якоря двигателя;

$U_{дв}$  – напряжение на якоре двигателя;

$K_{дн}$  - коэффициент передачи датчика напряжения якоря двигателя;

$K_{дэ}$  - коэффициент передачи датчика ЭДС;

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

$U_{рэ}$  – выходное напряжение регулятора ЭДС;

$U_{от}$  – напряжение обратной связи по току двигателя;

$K_{от1}$  - коэффициент обратной связи по току в контуре регулятора тока;

$U_{рт}$  – выходное напряжение регулятора тока;

$U_{тп}$  - выходное напряжение тиристорного преобразователя;

$R_{тп}$  – эквивалентное сопротивление тиристорного преобразователя;

$E_{дв}$  – противо ЭДС обмотки якоря двигателя;

$K_{дв}=1/C=0,3058$  - коэффициент передачи двигателя.

Структурная схема силовых цепей для режима стабилизации скорости приведена на рисунке 32.

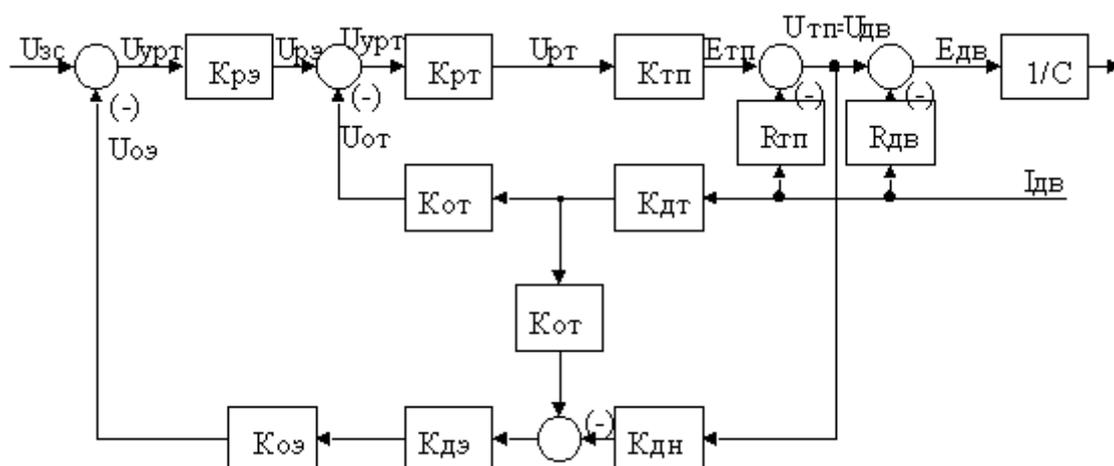


Рисунок 32 Структурная схема силовых цепей для режима стабилизации скорости

Решив систему уравнений относительно угловой скорости двигателя  $\omega$  найдем выражение для электромеханической характеристики  $\omega(I)$ .

$$\omega(I) = \frac{K_{\delta\epsilon} * K_{mn} * K_{pm} * K_{p\epsilon} * U_{zc}}{1 + K_{mn} * K_{pm} * K_{p\epsilon} * K_{\delta\epsilon} * K_{o\epsilon} * K_{\delta n}} -$$

$$- I_{\delta\epsilon} * K_{\delta\epsilon} * \left( \frac{R_{яц} + K_{mn} * K_{pm} * K_{p\epsilon} * K_{\delta\epsilon} * K_{o\epsilon} * K_{\delta n} * R_{\delta\epsilon}}{1 + K_{mn} * K_{pm} * K_{p\epsilon} * K_{\delta\epsilon} * K_{o\epsilon} * K_{\delta n}} \right) -$$

$$- I * K_{\delta\epsilon} * \left( \frac{K_{mn} * K_{pm} * K_{\delta m} * K_{om1} - K_{mn} * K_{pm} * K_{p\epsilon} * K_{\delta\epsilon} * K_{o\epsilon} * K_{\delta m} * K_{om2}}{1 + K_{mn} * K_{pm} * K_{p\epsilon} * K_{\delta\epsilon} * K_{o\epsilon} * K_{\delta n}} \right)$$

Подставив численные значения параметров, и преобразовав уравнение, получим

$$\omega = 9,101 U_{zc} - I 0,00363.$$

Рассчитаем электромеханические характеристики электропривода для найденных ранее численных значений параметров и различных задающих напряжений. Результаты расчетов сведем в таблицу 10 .

Таблица 10 – Расчет электромеханических характеристик электропривода

U <sub>zc</sub> , В	$\omega_0$ , рад/с	$\omega_n$ , рад/с
1	9,101	7,829
5	45,505	44,233
10	91,01	89,738

Графики электромеханических характеристик приведены на рисунке 33.

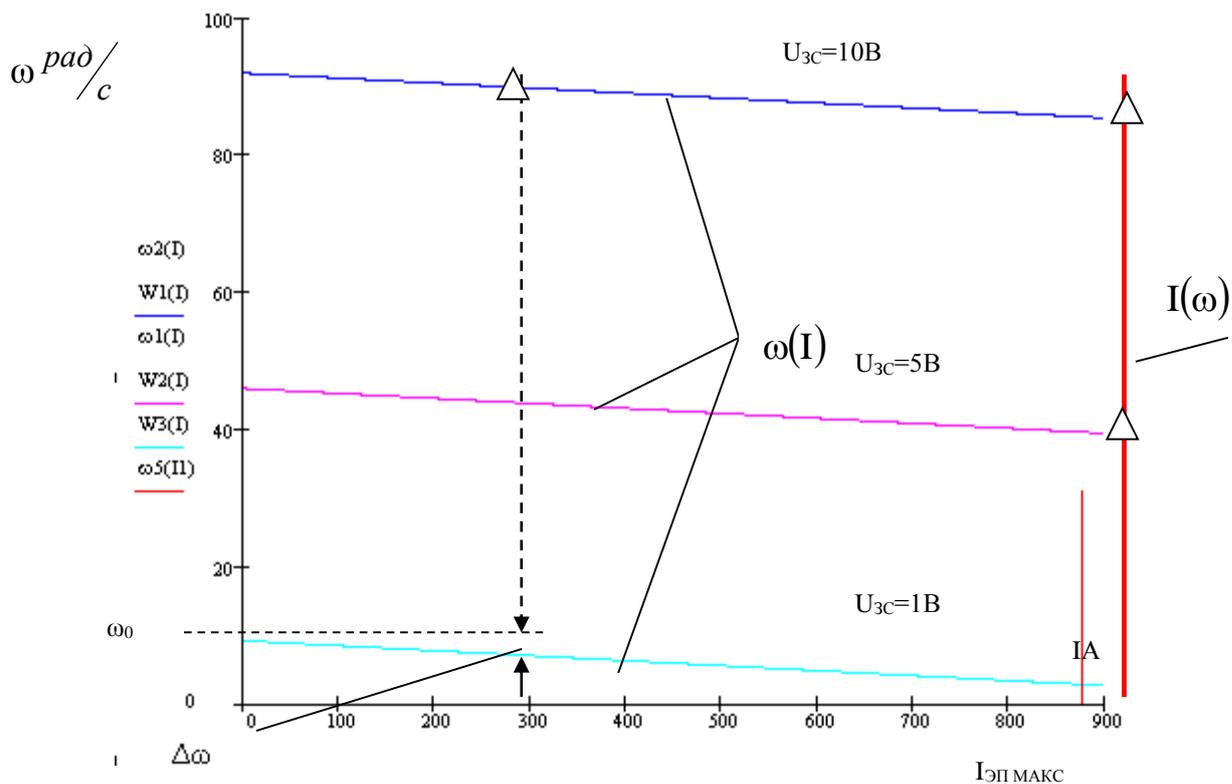


Рисунок 33 - Электромеханические характеристики при различном напряжении на якоре двигателя

При увеличении нагрузки скорость двигателя падает а напряжение управления регулятора ЭДС растет. Как только оно достигнет значения  $10/K_{рэ}$  регулятор ЭДС входит в насыщение. Отрицательная обратная связь по ЭДС отключается, стабилизация скорости в электроприводе прекращается. В схеме управления электроприводом остается действующей отрицательная обратная связь по току двигателя. Его структурная схема для режима стабилизации тока приведена на рисунке 34.

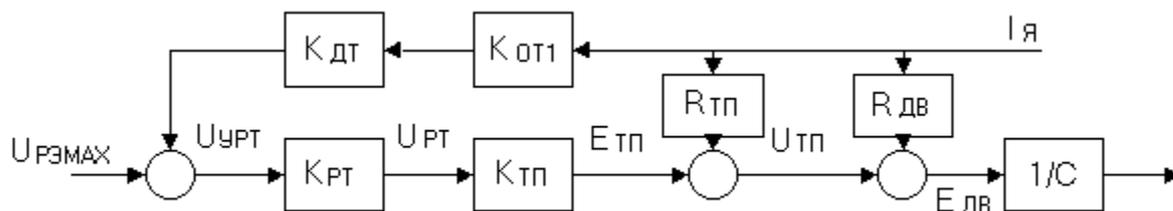


Рисунок34 - Структурная схема силового канала электропривода для режима стабилизации тока

На рисунке 34 приняты следующие обозначения:  $U_{рэн}$  – напряжение насыщения регулятора ЭДС.

Составим систему уравнений, которые описывают работу электропривода в режиме стабилизации тока двигателя в статике:

$$U_{урэ} = U_3 - U_{оэ};$$

$$U_{рэ} = U_{урэ} * K_{рэ}; \quad U_{урт} = U_{рэ} - U_{от1};$$

$$U_{рт} = U_{урт} * K_{рт};$$

$$E_{тп} = U_{рт} * K_{тп}; \quad U_{тп} = E_{тп} + I_{дв} * R_{тп};$$

$$U_{тп} = U_{дв};$$

$$U_{дв} = E_{дв} + I_{дв} * R_{дв};$$

$$E_{дв} = C * \omega_{дв}.$$

Решив систему уравнений относительно угловой скорости двигателя  $\omega$  найдем выражение для электромеханической характеристики  $\omega(I)$  в режиме ограничения тока.

$$\omega = \frac{K_{тп} * K_{рт} * U_{ррэ}}{C} - I_{дв} * \frac{(R_{я} + K_{тп} * K_{рт} * K_{дт} * K_{ом1})}{C}$$

Ток стопорения двигателя найдем при  $\omega = 0$ .

$$I_{сс} = \left( \frac{K_{тп} * K_{рт} * U_{ррэ}}{C} \right) / \left( \frac{R_{я} + K_{тп} * K_{рт} * K_{дт} * K_{ом1}}{C} \right) =$$

$$= \left( \frac{76,6 * 40000 * 10}{3,27} \right) / \left( \frac{0,104 + 76,6 * 40000 * 0,02 * 0,57}{0,57} \right) = 877,19.$$

С целью подтверждения полученных расчетных характеристик был проведен выборочный расчет точек электромеханических характеристик с помощью программы METALL. Для фиксированных значений задающего напряжения и нагрузки на валу двигателя найдены установившиеся значения скорости. Результаты имитационного моделирования приведены на рисунке 33 в виде треугольников. Результаты расчетов моделирования совпали полностью.

Найдем погрешность поддержания скорости двигателя для каждой из рассчитанных характеристик по формуле:

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

Результаты расчетов сведены в таблицу 11

Таблица 11 – Погрешность расчетов

Uз, В	%
1	13,97
5	2,79
10	1,397

Из анализа результатов расчетов следует, что исследуемая система обеспечивает поддержание скорости в рабочем диапазоне нагрузок – не более 15%, что соответствует требованиям технического задания.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Маматов Навруз Норбек угли

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

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

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

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

1. Система технического обслуживания и ремонта электрооборудования
2. График планово-предупредительных ремонтов
3. Структура монтажно-наладочных работ
4. Определение затрат на приобретение и монтаж электрооборудования
5. Определение стоимости ПНР
6. Техничко-экономические показатели

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

*Круговая диаграмма капитальных затрат на реализацию проекта*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Маматов Навруз Норбек угли		

### 3 Финансовый менеджмент , ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данном проекте рассматривается электродвигатель краново-металлургической серии марки Д-816 вращающегося распределителя шихты доменной печи на основе преобразовательного устройства типа КТЭ-500/440-131-УХЛ4 (согласно проведенным расчетам в подразделе 2.1 и выбранному электродвигателю).

#### Электродвигатель имеет технические данные:

- номинальная мощность  $P_H = 70$  кВт;
- номинальное напряжение питания  $U_H = 220$  В;
- номинальный ток  $I_H = 350$  А;
- номинальная частота вращения  $n_H = 535$  об/мин;
- максимальная допустимая частота вращения  $n_M = 1600$  об/мин;
- сопротивление якоря и добавочных полюсов (при 15°C)  $R_{я} + R_{ДП} = 0,084$  Ом;
- момент инерции  $J_{ДВ} = 16,25$  кг\*м<sup>2</sup>;
- режим работы  $ПВ = 40$  %;
- кратность максимального тока к минимальному  $K_{МАКС} = 2,5$ ;
- номинальный момент двигателя  $M_H = 1246$  Н\*м.

#### Преобразователь имеет следующие технические данные:

- номинальный выпрямленный ток  $I_{НОМ} = 500$  А;
- номинальное напряжение электропривода  $U_{НОМ} = 440$  В;
- выпрямленное напряжение преобразователя  $U_{ВЫПР} = 460$  В;
- напряжение питания силовых цепей  $U_{ПИТ} = 380$  В;
- частота питающей сети  $f_{ПИТ} = 50$  Гц;
- максимально допустимый выпрямленный ток  $I_{ЭПМАКС} = 1250$  А.

Комплекс работ по созданию проекта включает в себя:

- проектировка электропривода;
- пуско-наладочные работы электропривода.

Проект электропривода будут разрабатывать: руководитель проекта и инженер-разработчик.

Пуско-наладочные работы будут осуществлять инженер-бригадир, инженер-наладчик и электромонтер.

Планирование необходимо для обеспечения оптимального ведения работ, уменьшение затрат, увеличение производительности труда.

Электропривод подъема скиповой тележки является одним из важнейших агрегатов технологической цепи производства чугуна в доменном цехе. Так же как и к любому электроприводу металлургического производства, к электроприводу скипового подъема предъявляются высокие требования.

Заказчиком проекта является ОАО «Евраз ЗСМК». Проект осуществляется в рамках модернизации доменной печи №3 объемом 2000 м<sup>3</sup>. В дальнейшем результаты могут быть использованы как основа для типовых проектов по модернизации и разработке электропривода скиповых подъемов на различных металлургических предприятиях, поэтому можно говорить, что в дальнейшем проект имеет коммерческий потенциал. Таким образом, потенциальными потребителями результатов этого проекта являются предприятия металлургической промышленности, расположенные на территории Российской Федерации.

### **3.1 Структура пуско-наладочных работ**

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

Полный комплекс ПНР включает в себя:

#### **1. Подготовительные работы:**

- организационная инженерная подготовка работ;
- изучение электрической части проекта и ознакомление с технической документацией предприятия изготовителя электрооборудования;
- подготовка парка приборов и приспособлений, а также программ наладки и комплекта форм протоколов.

2. Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования:

- внешний осмотр электрооборудования на соответствие проекту;
- проверка и настройка отдельных элементов и функциональных групп;
- сборка испытательных схем;
- проверка параметров и снятие характеристик отдельных устройств;
- регулировка релейной аппаратуры;
- проверка правильности выполнения схем первичной и вторичной коммутации;

3. Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования:

наладка электрооборудования под напряжением, включая силовые цепи;

- снятие и настройка необходимых характеристик и сопоставление их с расчетными данными проекта;

- испытание и наладка оборудования в холостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием.

4. Наладочные работы в период комплексного опробования оборудования:

- обеспечение взаимных связей устройств в составе электроустановки и механизмов в составе агрегата;

- согласование входных и выходных параметров и характеристик отдельных механизмов в составе агрегата;

5. Обеспечение на электроустановках и агрегатах электрических параметров и режимов, предусмотренных проектом, а также их устойчивой работы в эксплуатационных режимах.

- Оформление отчетной и приемно-сдаточной документации;
- составление в одном экземпляре протоколов ПНР и испытаний (измерений электрооборудования);
- внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта, измерений, выполненных в процессе ПНР.

### 3.2 Выбор состава и численности бригады на проведение ПНР

По классификационным признакам бригада наладчиков характеризуется профессиональным составом и сменностью работы, как специализированная – из рабочих одной профессии, выполняющих технологически однородные работы; работа сменная (работа в одну смену); техника безопасности запрещает производить работы на оборудовании под напряжением менее двух рабочих. Исходя из выше сказанного, набираем бригаду, в состав которой входят:

1. Старший инженер – наладчик VII разряда (бригадир);
2. Инженер – наладчик систем автоматического регулирования VII разряда;
3. Электромонтёр VI разряда;

Бригада проводящая ПНР в составе 3 человек работает по 8 часов в день. Их заработная плата рассчитывается за фактически отработанное время.

При проведении ПНР для расчета заработной платы применяются поправочные коэффициенты:

$K_p=1.3$  - районный коэффициент

$K_p=1.3$  - коэффициент, вводимый при работах в действующих установках  
Дневная ставка членов бригады

$$C_{дн}=C_{чел.час}*K_p*K_n*n,$$

где  $C_{чел.час}$  – тарифная ставка за час ( руб./час )

n – количество отработанного времени за смену ( час )

Тарифные ставки членов производственно-технического персонала проводящего ПНР представлена в таблицу 11.

Таблица 11 – Тарифные ставки персоналу.

Состав - бригады	Разряд или квалификация	Тарифная ставка руб.
инженер-наладчик (бригадир)	7	144
инженер –наладчик	7	128
Электромонтер	6	123

Расчет затрат на основную заработную плату бригаде проводящую ПНР сводим в таблицу 12.

Таблица 12 - Затраты на основную заработную плату.

Состав бригады	Разряд, квалификация	Дневная ставка, руб.	Количество Рабочих дни.	Заработная Плата руб.
Инженер наладчик (бригадир)	7 разряд	1946.88	48	93450
Инженер наладчик	7 разряд	1730.56	48	83066.9
Электромантёр	6 разряд	1662.96	50	83148
Итого;				259664,9

На основании Статьи 143 ТК РФ четко указывает на то, что тарификация работ и присвоение тарифных разрядов работникам производятся с учетом Единый тарифно-квалификационный справочник ( ЕТКС) и Единый квалификационный справочник (ЕКС), а их применение утверждается в порядке, устанавливаемом Правительством РФ

### 3.3 Выбор формы и системы оплаты труда

Принцип распределения от количества и качества труда предполагает увязку системы заработной платы не только с качеством труда, но и с его количеством, то есть производительностью труда. Мерой количества труда на производстве является отработанное рабочими время или выработанная ими продукция. Установленные для отдельных категорий работников формы и системы оплаты труда должны материально заинтересовать в повышении количественных и качественных показателей работы.

Правильный выбор форм системы оплаты труда является важным экономическим фактором стимулирования эффективности работы коллектива.

На предприятиях применяются две основные формы оплаты труда – сдельная и повременная. Для бригады наладчиков наиболее эффективной является аккордная система оплаты труда. Эта система представляет собой разновидность сдельной системы, при которой сдельная расценка (сумма аккордного наряда) устанавливается на значительный объем работ без установления норм и расценок на отдельные элементы. При этом определяется срок окончания всей работы. Расчет с рабочими по аккордной системе производится после выполнения всего объема работ. Если выполнение аккордного задания требует значительного времени, то по аккордным нарядам выплачивается аванс на текущий месяц с учетом выполненного объема работ, а окончательный расчет производится после выполнения всего объема работ (аккорда).

Аккордная система является бригадной, и аккордный заработок распределяется между членами бригады.

Аккордная система может сочетаться с выплатой премий за улучшение качества работы и сокращения сроков её выполнения.

Если договором предусматривается промежуточная оплата, руководствуются структурой ПНР, приведенной в таблице 13.

Таблица 13 - Структура ПНР.

Этап	Состав ПНР	Стоимость ПНР в % от общей сметы
I	Подготовительная работа	10
II	Наладка, проводимая до индивидуальных испытаний технологического оборудования	40
III	Наладка в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	30
IV	Комплексное опробование	15
V	Оформление отчетной и приемно-сдаточной документации	5

### 3.4 Распределение и график проведения ПНР

Распределение работ среди членов бригады производится руководителем работ – бригадиром, в соответствии с профессиональной специализацией членов бригады.

Продолжительность выполнения отдельных видов (этапов) работ определяется исходя из профессионального опыта бригады, проведения аналогичных видов работ, приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Продолжительность выполнения видов (этапов) работ.

№ этапа (подэтапа)	Продолжительность этапа, дни	Исполнитель
I.		
I.A.	1	Бригадир
I.B.	3	Бригадир, наладчик, электромонтер
I.C.	3	Бригадир, наладчик, электромонтер
II.		
II.A.	2	Бригадир, наладчик
II.B.	6	Бригадир, наладчик, электромонтер
II.C.	4	Наладчик, электромонтер
II.D.	4	Наладчик, электромонтер

A – ознакомление с проектом, выявление неточностей;

II.E.	5	Наладчик, электромонтер
II.F.	3	Бригадир, электромонтер
III.		
III.A.	5	Бригадир, наладчик, электромонтер
III.B.	6	Бригадир, наладчик
III.C.	5	Бригадир, наладчик, электромонтер
IV.		
IV.A.	3	Бригадир, наладчик, электромонтер
IV.B.	3	Бригадир, наладчик, электромонтер
IV.C.	3	Бригадир, наладчик, электромонтер с приглашением технолога
V.		
V.A.	1	Бригадир
V.B.	3	Бригадир, наладчик
Итого срок выполнения ПНР	60	

- составление рабочего графика проведения ПНР;
- подготовка аппаратуры и инструмента;
- внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности;
- определения состояния технических характеристик;
- составление рабочей программы испытаний и наладки с учетом особенностей объекта.

В – проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта;

- проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик;
- проверка правильности выполнения схем;
- проверка работы электрических систем, блокировок и автоматики;

С – фазировка трансформатора опорных напряжений;

- наладка и настройка СИФУ;
- проверка работы и функционирование блоков сигнализации и защиты;

- проверка датчиков тока и напряжения;
- D– проверка диапазона изменения напряжения преобразователя;
- настройка устройства задания скорости;
- итоговая проверка защиты;
- настройка и снятие необходимых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического процесса;
- испытание оборудования в холостую.

E – обеспечение взаимных связей устройств в составе электрической установки;

– согласование входных и выходных параметров на входе и выходе характеристик отдельных механизмов;

– проверка режимов работы ЭП при управлении с пульта управления.

F– составление протоколов ПНР;

– внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и измерений, внесенных во время ПНР.

На основе вышеперечисленных этапов и их сроков исполнения построим линейный график проведения ПНР, а также распределение работ среди членов бригады. График проведения ПНР представлен на рисунке 27.

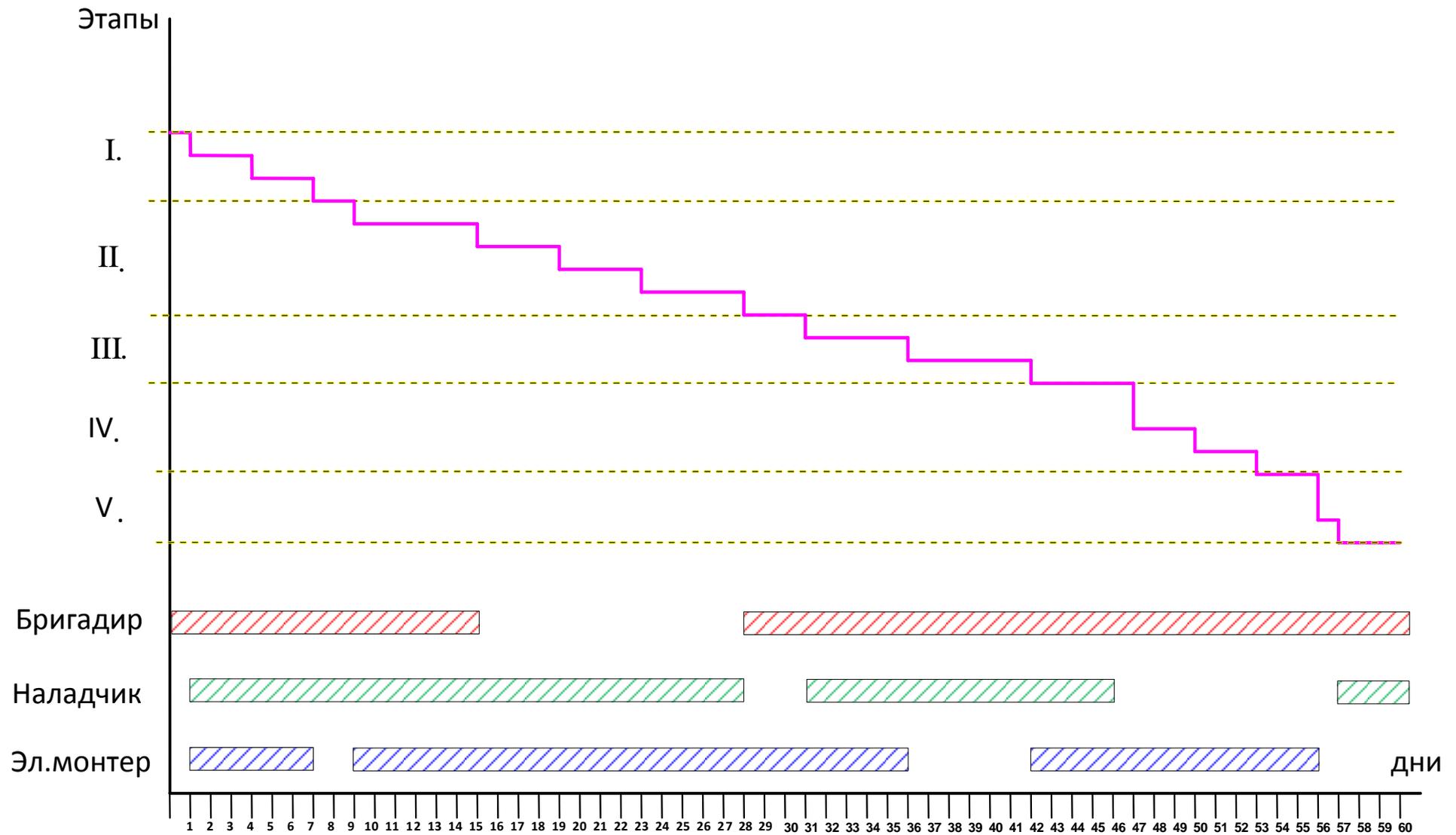


Рисунок 35 . Линейный график проведения пусконаладочных работ

### 3.5 Определение сметной стоимости ПНР

Стоимость ПНР по электроприводу вращающегося распределителя шихты исчисляется суммированием затрат по следующему оборудованию и видам работ:

преобразовательным трансформаторам и реакторам;

коммутационным аппаратам;

устройствам релейной защиты;

электрическим машинам;

статистическим преобразователям;

схемам управления электроприводом, а также систем автоматического управления и регулирования ими.

Стоимость материалов, необходимых для проведения пусконаладочных работ рассчитываем в таблицу 14.

Таблица 14 - Стоимость материалов

№	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость, руб.	
				за ед.	всего
1.	Лента поливинилхлоридная электро- изоляционная	кг	0.05	195	9.75
2.	Трубка электромонтажная ХВТ-5УХЛ-2.5	кг	0.1	78	7.8
3.	Трубка электромонтажная ХВТ-16УХЛ-2.5	кг	0.05	88	4.4
4.	Лакоткань электроизоляционная ка- проновая ЛКМ-105	м <sup>2</sup>	2	202	404
5.	Листовой электротехнический тек- столит	кг	23	209	4807
6.	Листовой фольгированный стекло- текстолит	кг	10	246	2460
7.	Электроизоляционная термостойкая ЛЭТСАР	кг	0.5	598	299
9.	Спирт технический	л	0.2	170	34
10.	Канифоль или флюс КСп	кг	0.15	66	9.9
11.	Припой ПОС	кг	0.4	70	28
12.	Компаудный лак К- 168	кг	0.5	46	23
13.	Ветошь	кг	2	18	36
Итого				8122,85	

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

При выполнении ПНР в условиях, снижающих производительность труда, к цене следует применять следующие коэффициенты:

наличие в зоне производства работ действующего оборудования –1,1;

выполнение ПНР в электротехнических установках, находящихся под напряжением –1,3;

надбавка к ценам ПНР (при районном коэффициенте 1,3) –1,3

Базисную стоимость ПНР определяем на основании ценника на проведение ПНР.

Стоимость оборудования и комплектующих представлена в таблице 15.

Таблица 15 - Стоимость комплектующих и оборудования

№	Наименование	Единица измерения	Количество	стоимость, руб	
				за единицу.	всего
1.	Комплектный тиристорный электропривод КТЭ-500/440-131-УХЛ-4	шт	1	585600	585600
2.	Электродвигатель Д816	шт	1	920000	920000
3.	Силовой трансформатор ТСЗП-400/10- УЗ	шт	1	390000	390000
4.	Тиристор Т253-1000	шт	12	1500	18000
5.	Сглаживающий реактор РТСТ-410-0.101 УЗ	шт	1	435000	435000
6.	Автоматический выключатель А3792	шт	1	3200	3200

7.	Автоматический выключатель А3791	шт	1	3500	3500
8.	Провод ПВ-Л	м	10	2,9	29
9.	Провод ПРГ	м	10	3,8	38
10.	Шнур ВВГ	м	7	14	98
11.	Кабель РКМ	м	15	48	720
12.	Кабель ВРГ	м	15	51	765
13.	Металлорукав РЗ-Ц	кг	5	103,8	519
14.	Перфорированный швеллер К225	кг	20	350	7000
15.	Перфорированный уголок К236	кг	15	31	465
16.	Кабельный наконечник 70-10- 13- МУХЛЗ	шт	30	29	870
17.	Кабельный наконечник 16-6-6- МУХЛЗ	шт	30	11	330
18.	Уплотнитель резиновый	шт	20	12	240
19.	Кабельная гильза 1 3-5-2 - ООУТ2	шт	20	29	580
Итого			<b>2366954</b>		

1. Затраты на комплектующие материалы.
2. Заработная плата пусконаладочной бригады;
3. Дополнительная заработная плата составляющая 15% от основной заработной платы;
4. Отчисление на социальные нужды (пенсионный фонд, фонд медицинского страхования, фонд социального страхования) составляет 30,2%;

### 5. Накладные расходы 40% пункта

Дополнительная заработная плата производится на оплату отпусков (за неиспользованный отпуск) и составляет 15% от основной заработной платы. ДЗП - дополнительная заработная плата, руб.

$$\text{ДЗП} = 0.15 * \text{ОЗП, руб}$$

где ОЗП - основная заработная плата, руб.

$$\text{ДЗП} = 0.15 * 259664,9 = 38949,7 \text{ руб.}$$

### 3.6 Определение сметной стоимости ПН

Все затраты на проведение ПНР такие как: стоимость оборудования и вспомогательных материалов, затраты на основную и дополнительную заработную плату, Отчисления во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд медицинского страхования, фонд социального страхования) и накладные расходы сводим в таблицу 16

Таблица 16 – Сметная стоимость ПНР

№	Наименование статей	Сумма, руб.
1	Вспомогательные материалы	8122,85
2	Стоимость комплектующих и оборудования	2366954
3	Основная заработная плата	259664,9
4	Дополнительная заработная плата	38949,7
5	Отчисления во внебюджетные фонды. 30,2%	78418,8
6	Накладные расходы ( 40% от ст.2 )	103865,9
Итого		2855976,15

**Вывод:**

В этом разделе была определена смета затрат на ПНР электропривода вращающегося распределителя шихты, построен график выполнения работ в бригаде. Успешная работа бригады наладчиков зависит от планирования проведения ПНР и правильной организации материально-технического снабжения, т.е. от своевременной поставки материалов, инструментов и т.д., необходимых на данном этапе ПНР электропривода. В то же время немаловажную роль играет квалификация наладчиков. Это должны быть высоко квалифицированные специалисты.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗБ2	Маматов Навруз Норбек угли

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики (ИШЭ)	<b>Отделение</b>	Кафедра электропривода и электрооборудования (ЭПЭО)
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Доменный цех ОАО «ЗСМК»
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты;</li> <li>- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	1. Анализ следующих вредных факторов: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций);</li> <li>- Загазованность;</li> <li>- Шум и вибрация;</li> <li>- Отклонение показателей микроклимата;</li> <li>- Недостаточная освещенность рабочей зоны.</li> </ul> 2. Анализ следующих опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Возможность получения травм в следствии:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>а) движения машин и механизмов;</li> <li>б) движение производственного материала;</li> <li>в) выброса горячего шлака из-под закигательного горна.</li> </ul> </li> <li>- Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Анализ воздействия на атмосферу: выбросы загрязняющих веществ в результате деятельности данного цеха. Анализ воздействия на гидросферу: образование сточных вод..
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха – пожар. Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС, действий во время ЧС и для ликвидации её последствий.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	Организационные вопросы обеспечения безопасности в рабочей зоне для электротехнического персонала

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5ГЗБ2	Маматов Навруз Норбек угли		

## **4 Социальная ответственность**

В данном проекте рассматривается электропривод вращающегося распределителя шихты доменной печи на основе преобразовательного устройства типа КТЭ-500/440-131-УХЛ4.

Распределитель шихты служит для устранения неравномерности распределения материалов по окружности доменной печи объемом 3000 м<sup>3</sup>.

Работы, выполняемые при пуско-наладочных работах и последующей эксплуатации электропривода вращающегося распределителя шихты:

- настройка электропривода;
- настройка путевого;
- снятие осциллограмм;
- прокрутка механизма;
- техническое обслуживание электропривода;
- работы по устранению аварий;
- планово-предупредительные работы.

Электропривод работает при постоянном выпрямленном токе до 875 А и номинальном выпрямленном напряжении 440 В. питание силовых цепей и цепей управления осуществляется от общей энергосети доменного цеха напряжением 380 В. качество питания соответствует [1].

### **4.1 Производственная безопасность**

#### **Анализ опасных и вредных факторов при выполнении работ**

К опасным факторам, при производстве пуско-наладочных работ электропривода, относятся:

- поражение электрическим током при проведении и измерений и наладке электропривода;
- получение ожогов при работе с паяльником;
- получение механической травмы от вращающихся деталей механизма.

К группе вредных факторов относятся:

- выделение вредных газов (сернистый газ);
- выделение графитной пыли в ходе технологического процесса;
- появление вибрации в процессе работы технологического оборудования;
- шум возникающий от оборудования размещенного в цехе.
- недостаточная освещенность рабочей поверхности
- отклонение параметров микроклимата от нормируемых значений

### **Техника безопасности**

Во избежание механических травм все вращающиеся части механизма должны быть ограждены, а также спецодежда электроперсонала должна быть в исправном состоянии и застегнутая на все пуговицы.

Во избежание получения ожога на рабочем месте, например от работающего паяльника, должно выполняться:

- порядок на рабочем месте;
- удобная для работы поза;
- внимательность работающего персонала.

### **Шум**

Источником шума в доменном цехе являются: технические средства, устройства кондиционирования воздуха, преобразователи напряжения, электрооборудования, а также цеха находящиеся в непосредственной близости к доменному цеху.

По [17] предусматривается обеспечение благоприятных условий труда, повышение производительности, предупреждение нарушения слуха и гипертонической болезни. В таблице 17 приведены уровни звукового давления на рабочем месте.

Таблица 17 - Уровни звукового давления

Вид трудовой деятельности на рабочем месте	Среднегеометрические частоты октавных полос								Уровень, Б*А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звукового давления, дБ								
Высококвалифицированная работа, требующая точности	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Работа, выполняемая часто получаемыми шумами и акустическими сигналами	83	74	68	63	60	67	55	54	65

### Вибрация

Исходя из требований [15] на персонал воздействует транспортно-технологическая вибрация категории 2. в таблице 18 приведены санитарные нормы одно-числовых показателей вибрационной нагрузки на оператора для смены длительностью 8 часов.

Таблица 18 - Санитарные нормы вибрационной нагрузки

Вид вибрации	Категория	Виброускорение		Виброскорости	
		м/с <sup>2</sup>	дБ	мс <sup>-1</sup> *10 <sup>-2</sup>	дБ
Общая	2	0,25	109	0,56	101

В таблице 19 приведены санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки категории 2 на персонал, которые соответствуют стандарту.

Таблица 19 - Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки

Среднегеометри- я частота, Гц	Виброускорение		Виброскорости	
	м/с <sup>2</sup>	дБ	мс <sup>-1</sup> *10 <sup>-</sup>	дБ
2	0,4	112	3,5	117
8	0,3	110	0,63	102
16	0,57	115	0,56	108
32	1,13	121	0,56	101
63	2,25	127	0,56	101

Разработка мероприятий по снижению производственных вибраций означает анализ уравнений, описывающих колебания машин и агрегатов в условиях производства.

Для борьбы с вибрациями в цехе применяются виброгасящие фундаменты. А использование дистанционного управления позволяет решить проблему защиты людей от этого вредного фактора.

### **Микроклимат**

Работы, выполняемые в доменном цехе, относятся к физическим работам средней тяжести. Поэтому существенное значение для санитарно-гигиенической характеристики доменного цеха имеют метеорологические условия в цехе. Метеорологические условия в доменном цехе определяются температурой, влажностью, пылью и подвижностью воздуха.

В соответствии с [26] площадь на одного человека в помещении должна не меньше 4,5 м<sup>2</sup> и объем не менее 15 м<sup>3</sup>. воздухообмен должен соответствовать не менее 20 м<sup>3</sup>/ч. метеорологические условия для рабочей зоны устанавливаются в соответствии с [19].

Оптимальный микроклимат в помещении оператора и машинного зала поддерживается с помощью принудительной вентиляции и кондиционирования, и также отопления согласно [20-22].

Работы, проводимые в помещении оператора относятся к легкой категории тяжести. В таблице 20 приведены параметры микроклимата на рабочем месте оператора и машинном зале.

Обеспечением частоты воздуха и нормальным метеорологических условий в помещении также является устранение таких вредных факторов как пыль. Пыль доменного цеха в основном составляет графитная пыль. Размер пыли колеблется в широких пределах: крупные фракции быстро оседают, а мелкие длительное время находятся в воздухе и отрицательно влияют на организм человека. Для борьбы с пылью используют следующие средства:

- а) различного рода фильтры;
- б) оросители и пылесосы.

Таблица 20 - Параметры микроклимата на рабочем месте оператора и машинном зале

Период	Категор- бот	t <sup>0</sup> С допусти- постоянных их местах	t <sup>0</sup> С опти- ая	Влаж- %		Скорость ния воздуха,	
				Оп	До	Оп	До
Холод-	Легкая-	25-21	22-24	40-	75	0,1	<
Теплый	Легкая-	28-22	23-25	40-	75	0,1	0,1-

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны:

- оксид углерода-20 мс/м<sup>3</sup>;
- графитная пыль-6 мс/м<sup>3</sup>;
- коксовая и каменноугольная пыль-6 мс/м<sup>3</sup>.

Для предотвращения влияния вредных веществ на организм человека применяются дистанционные методы управления технологическим процессом.

## Расчет искусственного освещения помещения оператора

Нормальная освещенность рабочего места зависит от характера работ и составляет согласно [23] для помещения оператора 400 ЛК при системе общего освещения.

Основные требования к производственному освещению:

- 1) на рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени;
- 2) необходимо обеспечить достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности, а также в пределах окружающего пространства;
- 3) в поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная блескость;
- 4) величина освещенности должна быть постоянной во времени;
- 5) следует выбирать необходимый спектральный состав света;
- 6) все элементы осветительных установок светильники, групповые щетки, понижающие трансформаторы, осветительные сети должны быть долговечными, электробезопасными, а также не должны быть причиной возникновения пожара или взрыва;
- 7) установка должна быть удобной и простой в эксплуатации, отвечать требованиям эстетики.

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности. Сохранность зрения человека, состояние его центральной нервной системы и безопасность труда в значительной мере зависят от освещенности.

Помещение, по возможности, должно освещаться естественным светом, так как он оказывает благоприятное влияние на психику. Если естественного освещения не достаточно, то необходимо применять искусственное освещение от различных светильников.

Для расчёта искусственного освещения в помещении оператора воспользуемся методом изложенным в [12]. Применяя данный метод, можно определить освещённость горизонтальной поверхности с учётом света, отражённого стенами и потолком.

Как было указано выше, для помещения оператора принимаем освещённость равную 400 лк.

Исходными данными для расчёта являются:

- ширина помещения  $A=10$  м;
- длина помещения  $B=6$  м;
- высота помещения  $H=7$  м;
- в помещении установлены светильники типа ОД-2-80;
- напряжение сети 220В;
- коэффициент запаса  $K=1,5$

Определим число светильников, для этого найдём высоту подвеса светильника  $H_p$  над рабочей поверхностью:

$$H_p = H - h_c - h_p = 7 - 1 - 1 = 5 \text{ м} \quad (4.1)$$

где  $H=7$  м – высота помещения;

$h_p=1$  м – высота рабочей поверхности;

$h_c=1$  м – высота подвеса светильника.

Эскиз расположения светильников по высоте помещения в соответствии с полученными данными приведён на рисунке 36.

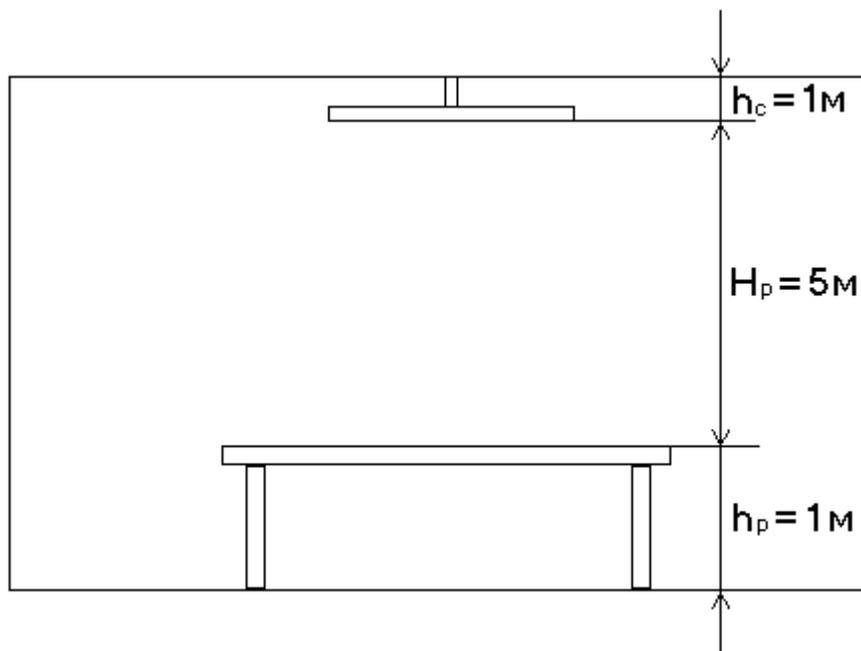


Рисунок 28 – размещение светильников по высоте помещения.

Пользуясь таблицей 7.2 приведённой в [12] определяем значение удельной мощности для напряжения 220 В и  $K=1,5$ :

$$p=32 \text{ Вт/м}^2$$

Мощность осветительной установки определяется как:

$$P=p*S, \tag{4.2}$$

где:  $S$ -площадь помещения.

$$S=A*B=10*6=60 \text{ м}^2, \tag{4.3}$$

Тогда по (4.2) определим мощность осветительной установки:

$$P=32*60=1920 \text{ Вт}$$

Определим число светильников:

$$n_c = \frac{P}{n * p_{л}}, \tag{4.4}$$

где:  $n=2$  – число ламп в светильнике;

$p_{л}=80 \text{ Вт}$  – мощность одной лампы.

$$n_c = \frac{1920}{2*80} = 12 \text{ шт.}$$

Величина светового потока находится по формуле:

$$F = \frac{E * K * S * Z}{n_c * \tau}, \tag{4.5}$$

где:  $F$  - поток каждой из ламп в лм;

$E=400 \text{ ЛК}$  – минимальная освещенность;

$K=1,5$  – коэффициент запаса;

$S=60 \text{ м}^2$  – площадь помещения;

$n_c=12 \text{ шт.}$  – число светильников;

$Z=1,15$  – отношение средней освещенности к минимальной;

$\tau=40 \%$  - коэффициент использования светового потока, то есть отношение потока, падающего на расчетную поверхность к суммарному потоку всех ламп.

Воспользовавшись формулой (4.5), найдем величину светового потока. При этом надо учитывать, что в одном светильнике устанавливаются две лампы. Значит, световой поток будет в два раза больше.

$$F = \frac{400*1,5*60*1,15}{2*12*0,4} = 4313 \text{ Лм.}$$

По полученному потоку в [12] подбираем мощность лампы для работы на напряжение 220 В. Наиболее подходящей лампой является лампа типа ЛБ мощностью 80 Вт и величиной светового потока равным 4320 ЛМ.

## 4.2 Экологическая безопасность

Процесс производства чугуна в доменном цехе сопровождается образованием больших количеств вредных веществ, таких как:

- оксид углерода – при ведении технологического процесса, от недожога топлива в печи;
- сернистый ангидрид – при использовании содержащих серу шихты;
- оксид азота – при всех процессах сжигания топлива;
- взвешенные вещества или графитная пыль.

Накопление вредных веществ в окружающей среде оказывает влияние как на растительный и животный мир, так и на человека и приводит к нарушению нормальных жизненных условий. ПДВ вредных веществ регламентируется [18]. Размер вредных выбросов доменного цеха в 2008 г. приведен в таблице 21.

Таблица 21 - Размер вредных выбросов в 2017 г.

Величина полей	Пыль,	Диокси- ды, Т/год	Оксид да, Т/год	Оксид а, Т/год	Оксид ия, Т/год	Итого
Нормативная	221,0	216	1296,1	143,9	2,8	1879,8
Фактическая	218,4	216,1	1294,5	139,8	2,38	1871,1

К числу источников неорганизованных выбросов в атмосферу в доменном цехе относятся: подбункерная эстакада, колошниковое устройство, литейный двор, а к числу организованных – дымовые трубы воздухонагревателей и систем аспирации. Основные загрязнители воздуха в доменном цехе: пыль и СО, хотя не исключено попадание в атмосферу и некоторых других вредных соединений, таких как NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S и другие.

Наличие в доменном цехе аспирационных систем в подбункерных помещениях с мокрой очисткой отсасываемого воздуха от пыли, центральных вытяжных станций на

литейных дворах доменных печей, оснащенных сухими газоочистными устройствами, а также внедрение на всех доменных печах систем подавления выбросов из меж конусного пространства, позволило существенно сократить поступление вредных веществ в атмосферу.

Вряд ли можно признать полностью удовлетворительным и состояние утилизации вторичных энергетических ресурсов в доменном производстве.

По этой причине в ближайшие годы предусматривается установка на всех доменных печах газо-утилизационных бес компрессорных турбин, использующих потенциальную энергию доменного газа, а также устройств по использованию тепла охлаждения футеровки доменных печей для подогрева доменного газа и воздуха для горения, поступающих в воздухонагреватели.

Улучшение основных технико-экономических показателей процесса выплавки чугуна на "ЗСМК" должно способствовать намеченной на ближайшую перспективу внедрение технологии вдувания пылеугольного топлива на всех доменных печах. Помимо весомых преимуществ при получении чугуна, это позволит сократить примерно 0,5 млн. Т в год потребления кокса, что, в свою очередь приведет к уменьшению его производства на "ЗСМК" и пропорциональному снижению вредных выбросов на коксохимическом производстве.

Образующие в доменном производстве сточные воды составляют 15 % от общего количества по предприятию в целом. Сточные воды содержат взвешенные вещества. Поэтому в доменном цехе имеется обратная система водоснабжения. Сточные воды очищаются в 4-х радиальных отстойниках и перед повторным использованием в производственных нуждах охлаждают воду на вентиляционной градирне. Использование воды регламентируется [24]. ПДК взвешенных частиц в воде должна составлять 100 мг/л. До очистки концентрация взвешенных частиц составляет от 250 до 400 мг/л, а после очистки в пределах 90 мг/л, что соответствует предельно допустимой концентрации.

### **4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Доменный цех отличается повышенной пожарной опасностью, так как он характеризуется сложностью производственных установок, значительным количеством твердых сгораемых материалов, большой освещенностью электроустановками, а также работой с расплавленным металлом.

Согласно [4] помещение электрооборудования, оператора и машинный зал по пожароопасности относятся к зоне класса П-Па-помещения, в которых обращаются твердые горючие вещества.

Основными причинами возникновения пожаров являются:

- 1) неосторожное обращение с огнём;
- 2) нарушение правил пожарной безопасности при ведении газосварочных и электросварочных работ;
- 3) неисправность отопительных приборов;
- 4) неисправность электропроводки, электрооборудования, электроаппаратуры;
- 5) взрывы газов, паров и пыли;
- 6) разряды атмосферного электричества;
- 7) самовозгорание промышленной ветоши и других материалов, склонных к самовозгоранию;
- 8) конструктивные недостатки оборудования;
- 9) неправильное хранение горюче-смазочных материалов.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутризаводского транспорта, правильное содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, организацию добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности и т.д.

Мероприятия режимного характера - это запрещение курения в не установленных местах, производства сварочных и других огневых работ в пожароопасных помещениях и т.д.

Эксплуатационными мероприятиями являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования.

К техническим мероприятиям относятся, соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электроприводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования и обеспечение пожарным инвентарем, который включает:

- сухой песок в ящиках;
- лопаты;
- огнетушители ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 (углекислотные), ОП-8У (порошковые), согласно ТУ-22-4720-80.

Для автоматического обнаружения очага пожара и запуска систем пожаротушения используются тепловые извещатели. Кроме автоматического их запуска предусмотрен дистанционный и местный.

На рисунке 29 приведен план эвакуации рабочего персонала в случае пожара.

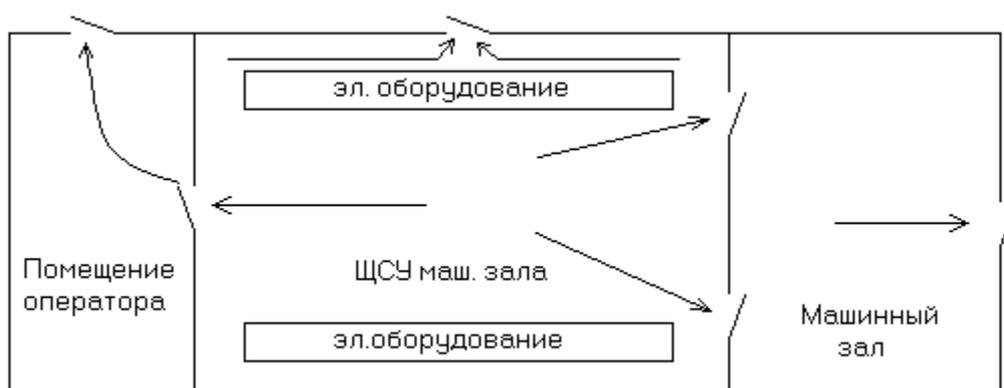


Рисунок 29 – План эвакуации электроперсонала в случае пожара

#### 4.4 Правовые и организационные вопросы безопасности

По действующим правилам (ПУЭ п. 1.1.13) все помещения делятся по степени опасности поражения людей электрическим током на три класса:

- без повышенной опасности;
- с повышенной опасностью;
- особо опасные.

К помещениям без повышенной опасности относятся сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха, с изолирующими (например, деревянными)

полами, в которых отсутствуют заземленные предметы или их очень мало. К помещениям с повышенной опасностью относятся помещения:

- сырые, в которых относительная влажность воздуха длительно превышает 75%;
- жаркие, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура воздуха превышает постоянно или периодически (более 1 суток) 35°С;
- пыльные, с токопроводящей пылью, в которых по условиям производства выделяется токопроводящая технологическая пыль;
- с токопроводящими полами - металлическими, земляными, железобетонными, кирпичными и тому подобное, в которых возможно одновременное прикосновение человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и тому подобное, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования, с другой.

К особо опасным относятся помещения:

- особо сырые, то есть помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100%;
- с химически активной или органической средой, содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

С учетом представленных выше условий и факторов помещение службы СРЗА и ПА относится к помещениям с повышенной опасностью.

Техника безопасности при выполнении пуско-наладочных работ должна соответствовать [3]. Важную роль в обеспечении безопасности труда для электротехнического персонала играют электротехнические средства защиты и предохранительные приспособления. Электрозащитные средства подразделяются на основные и дополнительные.

К дополнительным средствам относятся:

- изолирующие средства для ремонтных работ под напряжением до и выше 1000 В (диэлектрические боты, коврики и т.п.);
- индивидуальные экранирующие средства;
- переносные заземления;

- временные ограждения;
- предупредительные плакаты.

К основным относятся:

- изолирующие клещи;
- электроизмерительные указатели напряжения;
- монтажный инструмент с изолированными ручками;
- диэлектрические перчатки;
- изолирующие штанги.

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции в электроустановках потребителей должно быть предусмотрено заземление. Заземляющие устройства электроустановок должны соответствовать требованиям [3] и обеспечивать условия безопасности людей и защиты электрооборудования, а также эксплуатационные режимы работы. Защитное действие выносного заземления обусловлено только малой величины его сопротивления. Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом в электроустановках до 1000 В.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данном дипломном проекте был разработан и спроектирован электропривод вращающегося распределителя шихты доменной печи на основе устройства преобразователя тока.

В ходе проектирования были рассчитаны параметры силовой цепи привода, произведен расчет регулировочных характеристик преобразователя, параметров оптимальной настройки и логарифмических амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик электропривода. А также был проверен расчет переходных характеристик САУ РЭП методом математического моделирования и определены показатели качества, которые полностью удовлетворяют требованиям технического задания.

В организационно-экономическом разделе были рассмотрены мероприятия (пуско-наладочные работы) необходимые для введения в эксплуатацию электропривода вращающегося распределителя шихты доменной печи и рассчитали затраты на проведение этих работ.

В разделе “Безопасность и экологичность” проекта были оценены опасные и вредные факторы, действующие в доменном цехе, рассмотрены вопросы охраны труда, окружающей среды и произведён расчет искусственного освещения в помещении оператора.

## **THE CONCLUSION**

In the given degree project was designed and designed electrodrive of revolving distributor material domain stove on the base of device of converter of current.

In the course of designing were calculated parameters of power drive chain, made calculation of regulations features of converter, parameters of optimum adjustment and logarithmic amplitude-frequency and phase-frequency features of electrodrive. As well as was checked calculation of connecting features System of Auto Controlling Controlled Electrodrive by the method of mathematical modeling and determined quality factors, which completely meet the requirements technical requirement.

In organizing-economic section were considered actions (starting-adjustment work) required for introductions to the usage of electrodrive of revolving distributor material domain stove and have calculated expenseses on undertaking these work.

In the section "Safety and ecology" project were evaluated dangerous and bad factors, acting in the domain shop, considered questions labour protection, surrounding ambiences and made calculation of artificial illuminating of indoors operator.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1.ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.

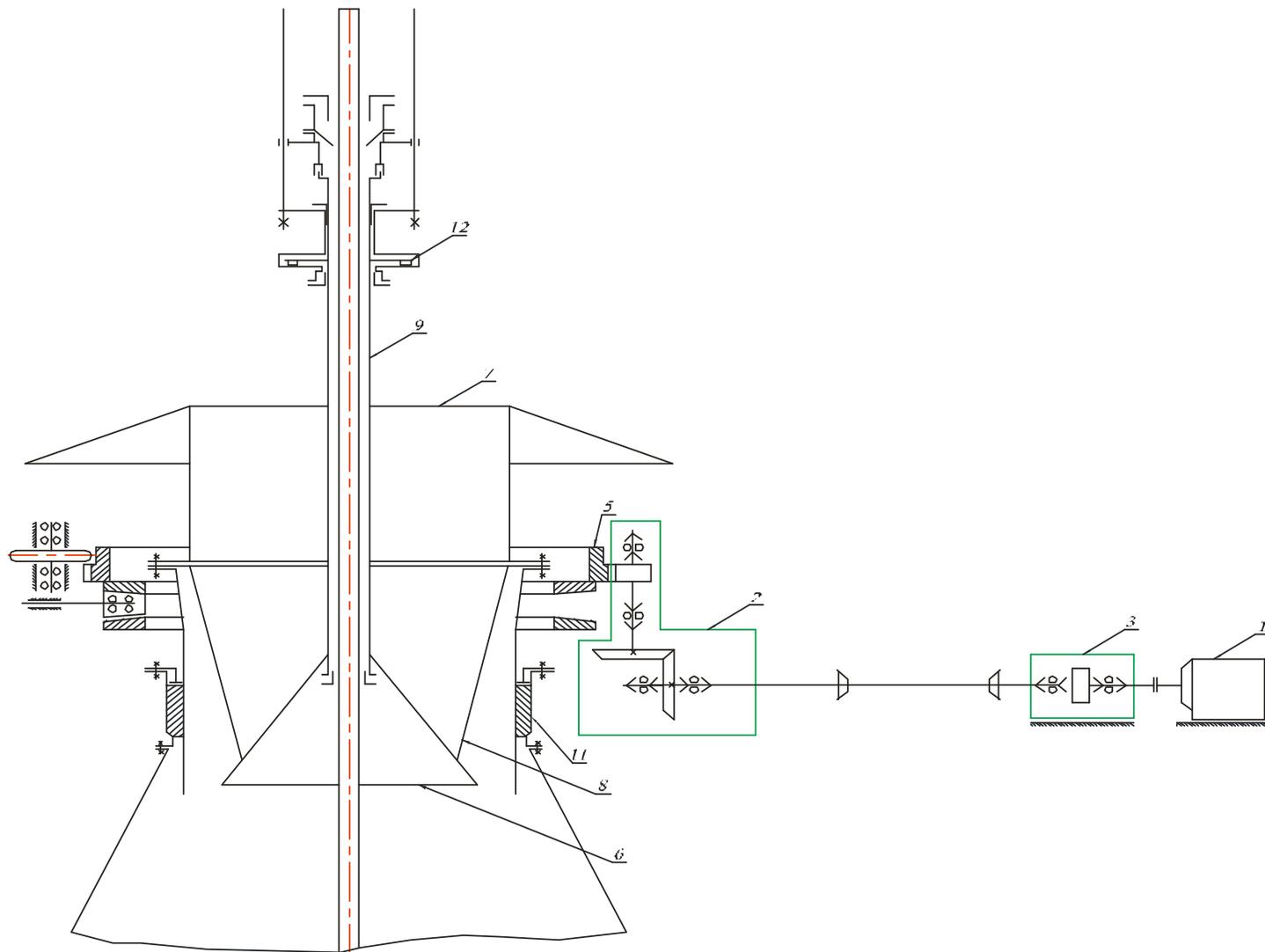
- 2.ГОСТ 25861-83. Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования по электрической и механической безопасности и методы испытаний.
- 3.ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
- 4.Правила устройства электроустановок/Минэнерго СССР-М.: Энергоатомиздат, 1985-640с.
- 5.ГОСТ 14254-80. Изделия электротехнические. Оболочки. Степени защиты. Обозначения. Методы испытаний.
- 6.Щиренко Н.С. Механическое оборудование доменных цехов-М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962.
- 7.Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т.1. Машины и агрегаты доменных цехов./Под редакцией Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. 2-е изд., перераб. И доп.-М: Металлургия, 1987-440с.
- 8.Башарин А.В. Управление электроприводами-Л.: Инергоиздат, 1982-392с.
- 9.Башарин А.В. Примеры расчетов автоматизированного электропривода-Л.: Энергия, 1972.
- 10.Справочник по электрическим машинам: В 2т./Под редакцией Капылова И.П. Т.1.-М.: Энергоатомиздат, 1988-456с.
- 11.Комплектные тиристорные электроприводы/Справочник под редакцией Перельмутера В.М.-М.: Энергоатомиздат, 1988-319с.
- 12.Епанешников М.М. Электрическое освещение-М.: Энергия, 1973-352с.
- 13.Вешеневский С.И. Характеристики двигателей в электроприводе-М.: Энергия, 1977-432с.
- 14.Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие по курсовому проектированию-Томск, изд. ТПУ, 1991-104с.
- 15.ГОСТ 27242-87. Вибрация. Виброизоляция. Общие требования безопасности.

- 16.ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность.
- 17.ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.
- 18.СН. 12.1.005-88. Санитарные нормы промышленных предприятий.
- 19.ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 20.СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
- 21.СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
- 22.СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий.
- 23.СНиП 23-05-95. Нормы освещенности производственных помещений.
- 24.СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
- 25.Прейскурант №26-05-437 часть 10, том 2 Глава 16 Министерство металлургии СССР-М.: 1990.
- 26.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

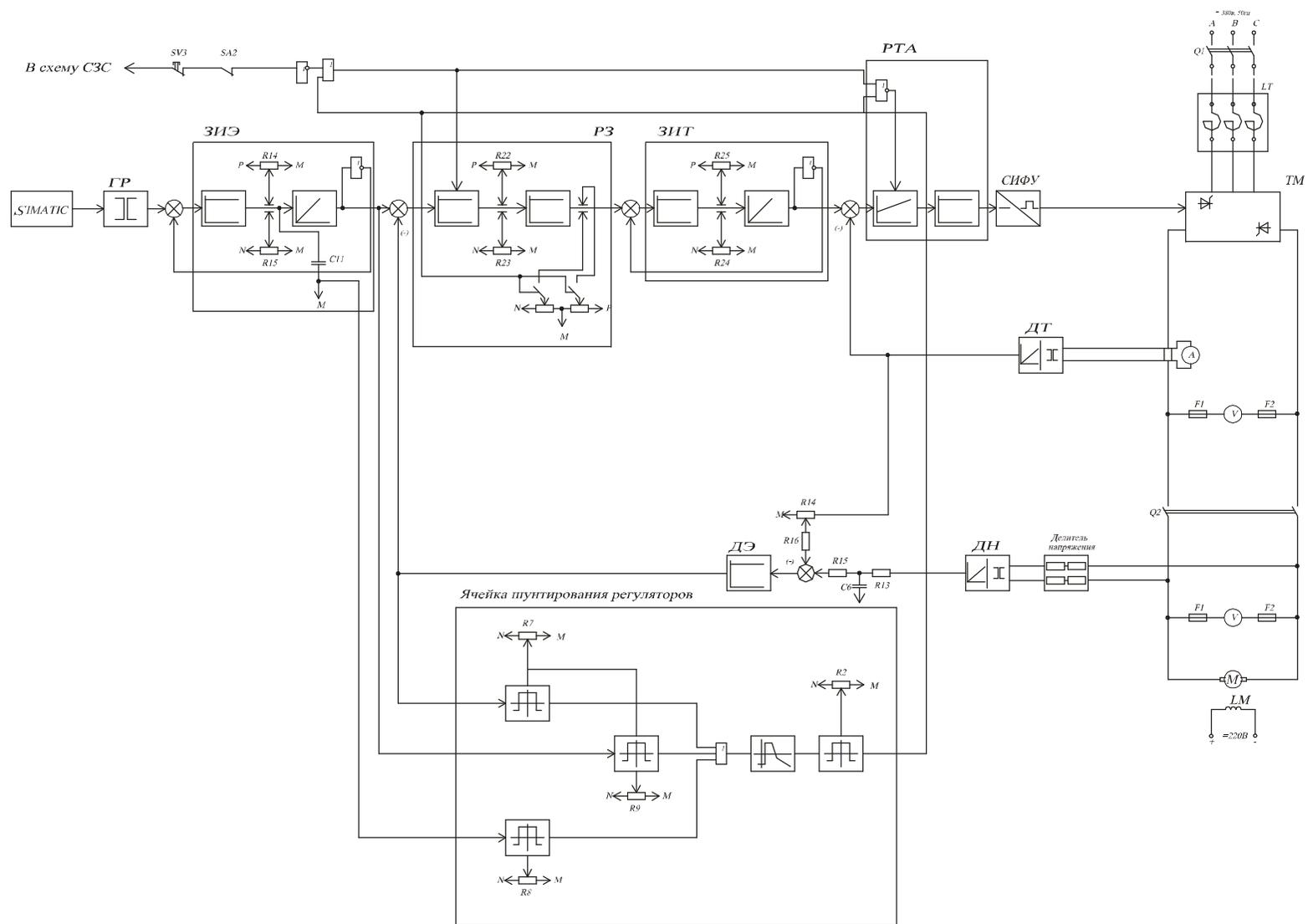
## **Приложение А**



# Кинематическая схема электропривода вращающегося распределителя шихты



## Функциональная схема электропривода вращающегося распределителя шихты



## Структурная схема электропривода вращающегося распределителя шихты

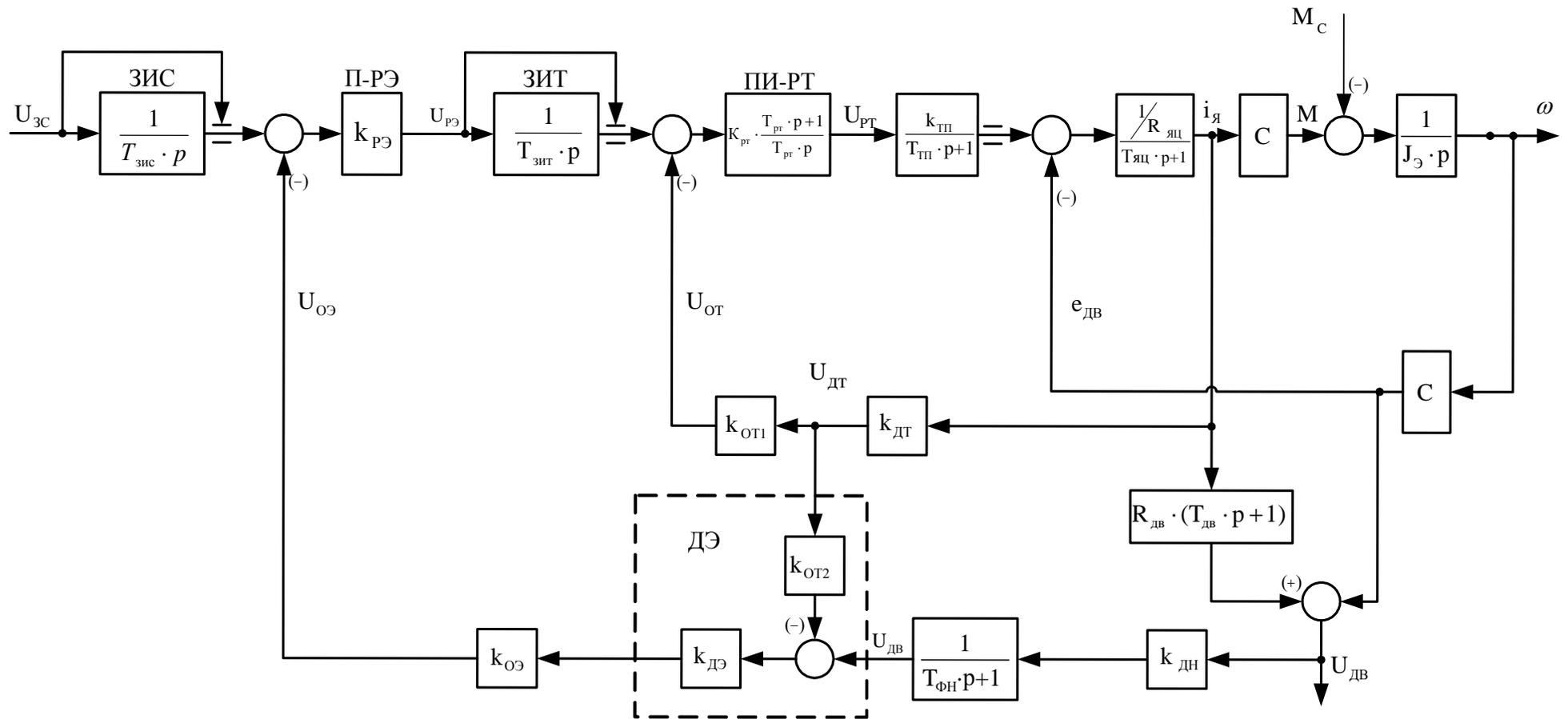


Схема набора имитационной модели в программной среде Матлаб.

