

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Регулируемый электропривод барабанных ножниц.</b>

УДК 62-83-52:621.967

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА2	Гозиев Ислонжон Исроилжонович		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2018 г.

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Ю.Н. Дементьев  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Гозиеву Ислонжону Исроилжоновичу

Тема работы:

**Регулируемый электропривод барабанных ножниц.**

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г
---	------------------------

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода; синтез и анализ нелинейной САУ РЭП; принципиальная электрическая схема, защита и сигнализация;

	социальная ответственность проекта; Финансовый менеджмент; заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	1. схема кинематическая; 2. - схема электрическая функциональная; 3. - схема электрическая структурная; 4. - схемы электрические принципиальные; 5. - демонстрационный лист; 6. - технико-экономические показатели;
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю	к.т.н.		05.04.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА2	Гозиев Ислонжон Исроилжонович		05.04.2018г.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Спроектировать электропривод барабанных ножниц, удовлетворяющий следующим условиям:

1. Напряжение питающей сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В;
2. Отклонение напряжения питающей сети от номинального значения + 10%, -15%;
3. Частота питающей сети 50 Гц + 2 %, качество подаваемого напряжения должно соответствовать ГОСТ 13109-87;
4. Сигнал управления - аналоговый + 10 В;
5. Тиристорный преобразователь - реверсивный, предназначенный для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающей среды от 5 - 45° и относительной влажности не более 80%;
6. Нагрузка - реактивная, ударного типа;
7. Точность регулировки, зависящая от номинального значения величины регулирования + 0,5 %;
8. Выбранный электропривод должен быть реверсивный и предназначен для работы в непрерывном режиме в условиях повышенной температуры, влажности, запыленности, иметь закрытое исполнение и высокий класс изоляции;
9. Электропривод должен обладать максимальным КПД, минимальным моментом инерции, большой перегрузочной способностью;
10. Диапазон регулирования скорости 1 : 10;
11. Обеспечивать плавный пуск и надежное ограничение ускорения и рывка автоматическое ограничение момента при возможных перегрузках;
12. Электропривод должен иметь следующие виды защит: от токов короткого замыкания, от токов перегрузки, от перенапряжений, от исчезновения напряжения сети, от потери информации с датчика положения и ЭДС;

13. В процессе работы необходимо согласование скорости ножниц со скоростью головной части раската для уменьшения количества отходов металла;

14. Система управления электропривода должна обеспечивать высокую скорость и быстрое протекание переходных процессов при отработке возмущений по нагрузке.

## РЕФЕРАТ

В квалификационной работе произведена модернизация электропривода барабанных ножниц 150 тонн, непрерывно-заготовочного стана (НЗС) обжимного цеха ОАО "ЗСМК". Выполненная квалификационная работа состоит из четырех разделов: описание технологического процесса, выбор элементов и расчет параметров силового канала следящего электропривода, экономика, безопасность и экологичность проекта. В разделе описание технологического процесса описан технологический процесс участка НЗС, электропривод и механизм барабанных ножниц, приведена кинематическая схема, а также дано обоснование выбора рода тока. В разделе выбор элементов и расчет параметров силового канала следящего электропривода произведен выбор электрооборудования, расчет параметров и характеристик элементов силовой цепи. В соответствии с кинематической схемой и параметрами раската был выбран двигатель постоянного тока МП 2000-315 УХЛ4.

Был произведен выбор тиристорного преобразователя серии КТЭ 2500/930, выбран преобразователь цепи возбуждения типа КТЭ 100/230.

В выпускной квалификационной работе произведен расчет ЛАЧХ замкнутой и разомкнутой систем тока, скорости, положения, определена область существования характеристик, расчет статических электромеханических характеристик, расчет переходных процессов в нелинейной САУ.

В разделе экономики представлены технико-экономические показатели электропривода барабанных ножниц, смета затрат на приобретение и монтаж электрооборудования, смета на проведение монтажно-наладочных работ. В разделе безопасность и экологичность проекта рассмотрены вопросы охраны труда и промышленной безопасности, проанализированы опасные и вредные факторы производства, произведен расчет искусственного освещения и заземления. Выпускная квалификационная работа включает в себя 122 листа печатного текста, 29 рисунков, 28 таблиц и 1 приложение.

## **Содержание**

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>9</b>
<b>1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ</b>	<b>11</b>
1.1 Непрерывно-заготовочный стан 850/730/580	12
1.2 Краткое описание технологического процесса	13
1.3 Технологическая характеристика механического оборудования	14
1.4 Требования к электроприводу барабанных ножниц	18
1.5 Разработка технического задания	18
<b>2. ВЫБОР СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА</b>	<b>20</b>
2.1 Выбор электродвигателя	20
2.2 Выбор тиристорного преобразователя	23
2.3 Выбор трансформатора	24
2.4 Выбор сглаживающего реактора	26
2.5 Определение параметров якорной цепи	27
2.6 Определение области работы электропривода	29
2.7 Механическая система электропривода	33
2.8 Расчет параметров цепи возбуждения	36
2.9 Силовой канал электропривода как объект управления	40
2.10 Расчет электромеханических характеристик реверсивного тиристорного преобразователя	41
<b>3 СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА</b>	<b>45</b>
3.1 Линеаризованная САУ электропривода барабанных ножниц	45
3.2 Оптимизация контура тока	46
3.3 Оптимизация контура ЭДС	48
3.4 Оптимизация контура положения	51
3.5 Оптимизация контура тока возбуждения	54
3.6 Статические электромеханические характеристики замкнутой САУ электропривода барабанных ножниц	56
3.7 Настройка САУ электропривода на имитационной модели	60
3.8 Анализ нелинейной САУ электропривода. Структурная схема нелинейной САУ электропривода	61
<b>4 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ</b>	<b>67</b>
<b>5. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ</b>	<b>71</b>
<b>6. РАСЧЕТ И ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОЖНИЦ</b>	<b>77</b>
<b>7. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА</b>	<b>83</b>

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	84
8 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	85
8.1 Обоснование выбранного оборудования и принятого способа управления агрегатами.	86
8.2 График планово-предупредительных ремонтов	87
8.3 Структура монтажно-наладочных работ	88
8.4 Определение затрат на приобретение и монтаж электрооборудования	93
8.5 Определение стоимости ПНР	94
8.6 Техничко-экономические показатели	96
8.7 Ресурсоэффективность технического проекта	97
Заключение	99
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	100
9 Социальная ответственность	102
9.1 Анализ условий труда	102
9.2 Техника безопасности при обслуживании и ремонте электрооборудования	104
9.3 Производственная санитария	105
9.4 Пожарная безопасность	109
9.5 Охрана окружающей среды	111
9.6 Мероприятия по ликвидации чрезвычайной ситуации в обжимном цехе ОАО «ЗСМК»	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	113
The concluding	114
ЛИТЕРАТУРА	115
ПРИЛОЖЕНИЕ А	117



## **ВВЕДЕНИЕ**

Западно-Сибирский металлургический комбинат проектировался как передовое, высокотехнологичное предприятие с высокопроизводительными производственными агрегатами и с полным металлургическим циклом.

В ноябре 1992 года комбинат был преобразован в акционерное общество открытого типа.

По объёму производства и в сравнении с аналогичными предприятиями России ОАО “ЗСМК” занимает четвёртое место после таких комбинатов как Новолипецкий, Череповецкий и Магнитогорский.

ОАО “ЗСМК” включает в себя следующие технологические подразделения:

- коксохимическое производство;
- аглоизвестковое производство;
- доменное производство;
- сталеплавильное производство;
- прокатное производство;
- метизное производство.

Современное металлургическое производство является крупным потребителем электрической энергии. Энергетическую основу металлургической промышленности составляет электрический привод, технический уровень развития которого определяет эффективность работы технологического оборудования цехов и производств.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в теории и практике электропривода переменного тока, массовым промышленным регулируемым электроприводом продолжает оставаться электропривод постоянного тока.

Регулируемый электропривод постоянного тока представляет собой сложную электромеханическую систему, обеспечивающую регулирование скорости в заданном диапазоне с требуемой точностью и быстродействием и в общем случае является системой двух взаимодействующих каналов – силового

(энергетического), состоящего из участка электрической сети, электрического, электромеханического и механического преобразователей и информационного канала.

Автоматизация технологических процессов, повышая эффективность производства, увеличивает производительность оборудования, снижает эксплуатационные расходы, создаёт экономию электроэнергии, сырья, тем самым обеспечивая экологическую чистоту и улучшение качества всего производства.

Современный автоматизированный электропривод – это высоконадёжная и экономичная электромеханическая система, способная полностью обеспечить автоматизацию любого технологического процесса, достигнуть высокого быстродействия и точности при своей работе, улучшить условия труда обслуживающего персонала.

Основными направлениями развития являются повышение экономичности и надёжности работы. Однако решающим фактором в оценке электропривода является его влияние на производительность рабочей машины и себестоимость продукции. Это достигается путём усовершенствования электродвигателей преобразователей, аналоговых и цифровых средств управления, коммутационной аппаратуры и элементов защиты.

Применение тиристорного преобразователя позволяет повысить быстродействие, увеличить надёжность, долговечность привода и как следствие повысить производительность труда и качество продукции.

Тиристорный электропривод позволяет уменьшить энергоёмкости работ, увеличить быстродействие за счёт сокращения времени переходных процессов и времени на настройку, повысить качество продукции – за счёт улучшения таких показателей, как плавность регулирования, повышение коэффициента использования оборудования.

Электропривод основных механизмов металлургических агрегатов, работающих с переменными скоростями оснащаются, как правило, электродвигателями постоянного тока. Питание электродвигателей

осуществляется от сети переменного тока через преобразователи энергии различного вида.

Электродвигатель и преобразователь представляет собой силовую часть электропривода, и являются объектом регулирования в системе автоматического управления.

Ножницы предназначены для работы в режиме непрерывного вращения со скоростью синхронной скорости движения раската. Мерная длина обрезаемой заготовки определяется поддержанием заданного соотношения скорости вращения ножниц и движения раската.

Целью выпускной квалификационной работы является анализ работы технологического процесса и модернизация электропривода барабанных ножниц непрерывно-заготовочного стана. Проект разработан на основании задания на дипломное проектирование и отчёта по преддипломной практике.

# **1.ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ**

## **1.1 Непрерывно-заготовочный стан 850/730/580**

Прокатный комплекс ОАО “ЗСМК” состоит из обжимного цеха с отделением нагревательных колодцев, блюмингом “1250” и непрерывно – заготовочным станом и цеха сортового проката с четырьмя прокатными станами (мелкосортный “250 - 1”, и “250 - 2”, среднесортный “450” и проволочный “250 - 1”).

Непрерывно-заготовочный стан предназначен для прокатки заготовок сечением 80x80мм; 100x100мм; 125x125мм; 150x150мм; 150x200мм; 165x200мм следующих марок стали: углеродистый (кипящих, полуспокойных, спокойных) обыкновенного качества по ГОСТ 380-71, стали горячекатаной для армирования железобетонных конструкций по ГОСТ 5781-82, стали углеродистой качественной конструкционной по ГОСТ 1050-74 и ГОСТ 10702-78, стали легированной конструкционной по ГОСТ 4543-75 и гост 10702-78, стали низколегированной по ГОСТ 19282-73, стали углеродистой и низколегированной конструкционной для мостостроения по ГОСТ 6713-75, низкоуглеродистой по ГОСТ 2246-70, катанки стальной канатной по ГОСТ 1437-78.

Непрерывно-заготовочный стан включает в себя две группы клетей: черновую, состоящую из восьми клетей и чистовую, состоящую из шести клетей, маятниковые ножницы “1250т” для зачистки переднего и заднего концов раската, барабанные ножницы “400т” для порезки раската на мерные длины после черновой группы клетей, барабанные ножницы “150т” для порезки раската на мерные длины после чистовой группы клетей.

Металл перед прокаткой нагревается в двух методических печах с шагающим подом, отапливаемых коксодоменной смесью. Заготовки с шагающих балок печи передаются на внутриванной рольганг, по которому через боковые окна выдаются на стан.

Полученный квадрат сечением 80x80мм и 100x100мм подаётся для прокатки на непрерывном проволочном стане “250 – 1”.

После прокатки металл транспортируется рольгангом на холодильник реечного типа, а затем подвергается резке на товарные длины. Готовый прокат пакетируется в пачки и маркируется.

## **1.2 Краткое описание технологического процесса**

Блюмы, прокатанные на стане «1250» весом 10-13 тонн сечением от 320x320 мм до 350x350 мм после обрезки на ножницах «1250 т» транспортируется рольгангами к НЗС.

Раскат проходит клетки «А» и «1», кантуется на 90 град. кантователем и проходит последовательно клетки «В», «2», «3», «4», «5», «6».

Полученный раскат сечением 150x150мм, 150x200мм, 165x200мм шлепперным устройством подается на обводную линию и транспортируется рольгангами номер 5, 6, 7, 8 к летучим ножницам «400тн» для порезки на заготовки длиной 4-12 м на ходу при скорости движения раската 2,3-2,5 м/сек, обрезки переднего и заднего концов раската длиной 150-300 мм.

Заготовки, предназначенные для дальнейшего переката на квадрат 80x80 мм или 100x100 мм, после 1-й (черновой) группы клетей прокатывается во II-й группе, перед которой, в случае необходимости, производится обрезка головной части раскатов на маятниковых ножницах.

Перед II-й группой клетей раскат кантуется на 45 град. кантователем.

II-я группа состоит из шести клетей: «С», «D», «7», «8», «9», «10».

После прокатки раскат разрезается барабанными ножницами «150тн» на заготовки длиной 10500 - 11800мм, которые клеймятся в торец клеймовочным устройством, собираются в пакеты на пакетирующем рольганге II-й группы с косорасположенными роликами и транспортируются по рольгангам на холодильники.

Барабанные ножницы установлены на расстоянии 8,55 м от клетки №10 и предназначены для порезки раската сечением 100x100 мм, 80x80 мм, 125x125 мм с зачисткой головной и донной части при скоростях движения раската 3,3 - 6,5 м/сек.

Ножницы предназначены для работы в режиме непрерывного вращения со скоростью, синхронной скорости движения раската.

Мерная длина отрезаемой заготовки определяется поддержанием заданного соотношения скоростей вращения ножниц и движения раската.

Согласование положения ножей с положением раската при зачистке концов заготовки достигается изменением скорости вращения ножниц (снижением, либо повышением относительно синхронной рабочей скорости) на время отработки величины рассогласования.

### **1.3 Технологическая характеристика механического оборудования**

При резе металла необходимо чтобы угол наклона ножей к разрезаемой поверхности не менялся в процессе резания. Поэтому в этих случаях применяются ножницы с параллельным, т.е. поступательным движением ножей друг к другу.

К такому типу относятся планетарные ножницы, предназначенные для установки за непрерывно-заготовочным станом.

Барабанные ножницы «150 т» состоят из следующих основных узлов:

- механизма резания;
- главного привода;
- механизма пропуска реза;
- механизма включения пропуска реза;
- механизма поворота.

Кинематическая схема ножниц представлена на рисунке 1.

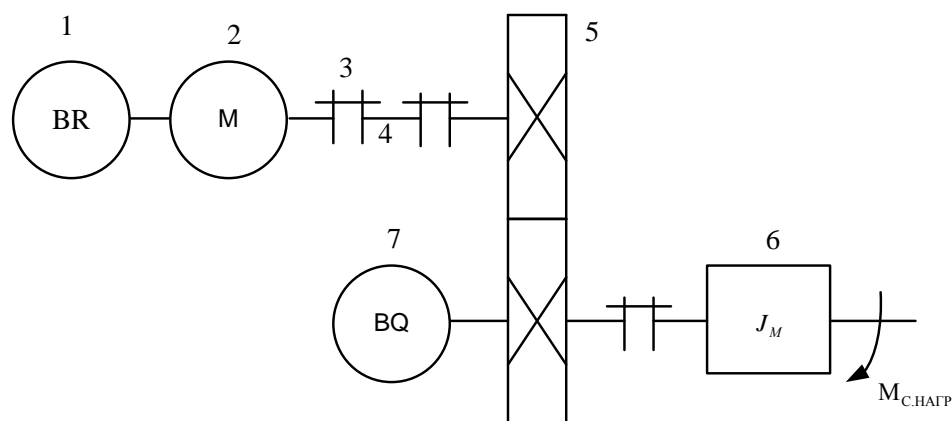


Рисунок 1 - Кинематическая схема барабанных ножниц «150 т»

1 - BR - тахогенератор; 2 - М - двигатель; 3 - муфта; 4 - вал;  
5 - редуктор; 6 - механизм; 7 - BQ - датчик положения

Механизм резания (рисунок 2) состоит из двух несущих барабанов (нижнего и верхнего), смонтированных в станине на подшипниках качения и вращающихся в разные стороны.

Внутри каждого барабана смонтирован планетарный механизм, состоящий из солнечной, промежуточной и планетарной шестерён.

Солнечная шестерня закреплена на неподвижном валу, а с планетарной шестерней жёстко связаны барабаны с закреплёнными на них ножами.

При вращении несущих барабанов 4 (рисунок 2) и неподвижных солнечных шестернях 6, промежуточная шестерня 7 будет обкатывать вокруг солнечной шестерни, планетарные шестерни 8 будут совершать плоскостное движение по окружности.

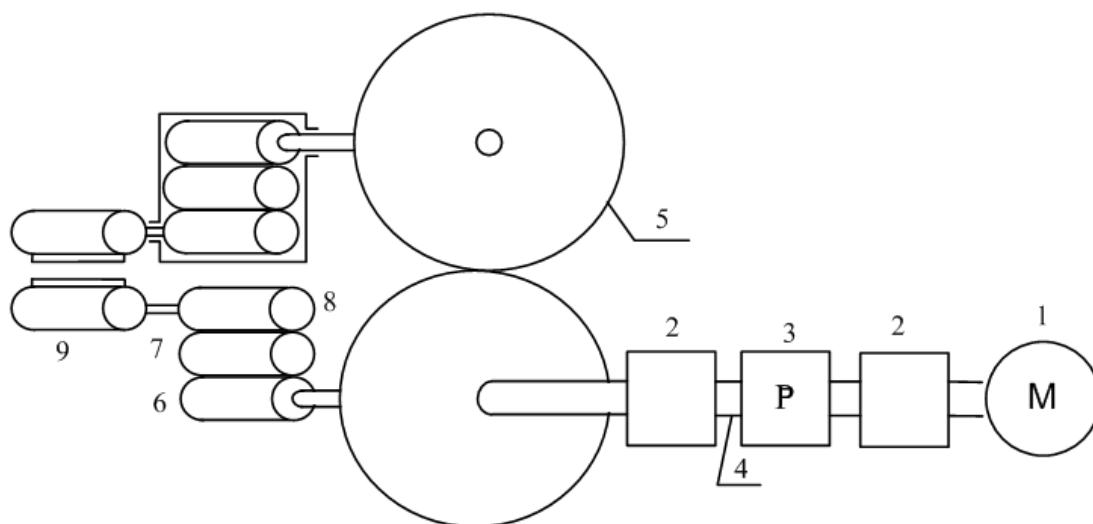


Рисунок 2 - Кинематическая схема барабанных ножниц с поступательно движущимися ножами. 1 - двигатель; 2 - муфта; 3 - редуктор; 4 - вал; 5 - большая шестерня; 6 -солнечная шестерня, 7 - промежуточная шестерня; 8 - планетарная шестерня; 9 - ножи

Шестерня 6 жестко закреплена на неподвижном валу, а шестерня 8 жестко связана с барабаном, на котором установлен нож 9. При этом ножи всегда будут перпендикулярны к разрезаемой полосе, и рез будет происходить за каждый оборот несущих барабанов.

Ножницы позволяют получить мерную длину в диапазоне 5-6 м за счёт изменения синхронной с раскатом скорости движения ножей на величину, определяемую допустимым изменением коэффициента обгона в диапазоне 1,0-1,24. При этом  $K_{об}=1$  соответствует длине заготовке 6 м при работе без пропуска реза и 12 м - с пропуском реза.

Для получения мерных заготовок двойной длины необходим пропуск реза, для чего необходимо повернуть на некоторый угол с тем, чтобы ножи при встрече планетарных шестерён не задевали проходящий через ножницы металл.

Поворот шестерён производится механизмом пропуска реза, состоящего из двух рычагов, соединённых тягой, причём нижний рычаг поворачивается с помощью кривошипно-шатунного механизма.

При работе без пропуска реза вал кривошипа застопорен в мёртвой точке, а при работе с пропуском реза этот вал должен делать один оборот на два оборота



барабана. В редукторе привода ножниц выполнена двухступенчатая передача с передаточным числом  $i=2$  к механизму пропуска реза.

Для осуществления пропуска механизм пропуска реза сочленяется с приводным зубчатым колесом с помощью зубчатого венца, который в этом случае перемещается в крайнее левое положение.

В случае, когда ножницы должны работать без пропуска реза, зубчатый венец перемещается в крайнее правое положение.

Переключение механизма пропуска реза осуществляется при остановленных ножницах, причём барабаны устанавливаются в положение максимального сведения ножей.

Технические параметры и характеристики механической части приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические параметры механической части барабанных ножниц

Наименование	Обозначения	Величина
Приведённый момент инерции механизма,	$J_M$	1150
Длина вала, мм	$L$	3480
Диаметр вала, мм	$D$	280
Радиус большой шестерни, мм	$R_d$	1515
Число зубьев большой шестерни	$Z_d$	150
Радиус реза, мм	$R_{рез}$	760
Максимальное усилие реза, т	$M$	150
Передаточное число редуктора	$i_{ред}$	3,714
Мерная длина отрезаемой заготовки, м	$l$	4-12
Скорость движения раската, м/с	$v$	3,3 - 6,5
Мерная длина отрезаемой заготовки, м	$l$	4-12
Скорость движения раската, м/с	$v$	3,3 - 6,5

#### Продолжение таблицы 1

Толщина разрезаемой заготовки, мм	$h$	100x100
Максимальная угловая скорость барабанов, рад/с	$\omega_{\sigma} = \frac{v}{R_{\sigma}}$	8,125
Максимальная скорость двигателя, рад/с	$\omega_{\delta\sigma} = \omega_{\sigma} \cdot i_{ред}$	30,18

#### 1.4 Требования к электроприводу барабанных ножниц

Данный электропривод реверсивный. Основными требованиями, предъявляемыми к электроприводу ножниц являются:

- непрерывный режим работы;
- работа в регулируемом режиме;
- диапазон регулирования скорости 1:10;
- плавный пуск и надежное ограничение ускорения и рывка;
- согласование скорости ножниц со скоростью головной части раската;
- ударное приложение нагрузки;
- высокая скорость и быстрое протекание переходных процессов при отработке возмущений по нагрузке;
- автоматическое ограничение момента при возможных перегрузках;

#### 1.5 Разработка технического задания

Разработать регулируемый электропривод барабанных ножниц, удовлетворяющий следующим заданным техническим условиям и требованиям:

- род тока - постоянный;
- тиристорный преобразователь - реверсивный;
- напряжение питающей сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В;
- отклонение напряжения питающей сети от номинального значения + 10%, -15%;

- частота питающей сети 50 Гц  $\pm$  2 %, качество подаваемого напряжения должно соответствовать ГОСТ 13109-87;

- нагрузка - реактивная, ударного типа;

- работа в длительном режиме;

- максимальная линейная скорость барабана - 6,5 м/с;

- минимальная линейная скорость барабана - 3,3 м/с;

- точность регулировки, зависящая от номинального значения величины регулирования  $\pm$  0,5 %;

- сигнал управления - аналоговый  $\pm$  10 В;

- по защищенности от проникновения твердых тел и воды технические средства электропривода должны иметь степень защиты IP 23S, согласно ГОСТ 14254-80;

- Все элементы, находящиеся под напряжением должны иметь защиту от случайного прикосновения, а также заземление и зануление в соответствии с ГОСТ 12.1030-81;

- система электропривода должна обеспечивать безотказную работу в помещениях со следующими условиями: температура окружающей среды от 1 до 40 С; относительная влажность от 40 до 80 % (при температуре + 25°С); атмосферное давление от 630 до 800 мм рт ст; высота над уровнем моря до 1000 м;

- требования безопасности использования электропривода должны соответствовать ГОСТ 25.861-83;

- уровень воздушного шума при работе системы не должен превышать 70 дБ;

- электрооборудование должно выдерживать высокие температуры от разрезаемого горячего металла.

## 2. ВЫБОР СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 2.1 Выбор электродвигателя

По технологическим условиям для осуществления качественной порезки раската на мерные длины, электропривод барабанных ножниц должен работать в повторно-кратковременном режиме. Расчет мощности электродвигателя барабанных ножниц, ведём по методике, изложенной в литературе [6].

Правильный выбор мощности электродвигателя имеет большое значение, так как этим обеспечиваются минимальные затраты и потери электроэнергии при эксплуатации, высокая производительность и надежность работы механизма.

Занижение мощности электродвигателя вызывает его перегрев при работе, преждевременный выход из строя, повышенную стоимость ремонта.

Завышение мощности ухудшает энергетические показатели электродвигателя. При этом снижается коэффициент полезного действия, увеличиваются капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

Выбор мощности электродвигателя должен быть произведен в полном соответствии с нагрузкой на валу и режимом работы [11].

Правильно выбранный электродвигатель должен при работе развивать наибольшую мощность, при которой он не нагревается выше допустимого предела.

Выбор двигателя по моменту производим по выражению[6]

$$M_{\text{дв}} \geq \frac{M_{\text{рез.макс}}}{\lambda_{\text{дв}}} = \frac{150780}{2.25} = 67013 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $\lambda_{\text{дв}} = 2.25$  - перегрузочная способность двигателя постоянного тока;

$$M_{\text{рез.макс}} = \frac{F \cdot R_{\text{рез}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{700000 \cdot 0.76}{3.714} = 150780 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{момент реза максимальный};$$

$$F = \tau_{cp} \cdot S = 70 \cdot 10^6 \cdot 0.01 = 700000 \text{ Н} - \text{усилие реза,}$$

где  $\tau_{cp} = 70 \text{ МПа}$  - сопротивление резанию  $1 \text{ мм}^2$  сечения металла при  $t = 800^\circ\text{C}$

[11];

$$S = 100 \cdot 100 \text{ мм} = 0.01 \text{ м}^2 - \text{площадь разрезаемой заготовки.}$$

По литературе [5] выбираем двигатель серии МП-2000/315У4 . Параметры выбранного электродвигателя приведено в таблице 2.

Таблица 2 - Параметры электродвигателя МП-2000/315У4

Наименование	Обозначение	Величина
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	$P_H$	2x1000
Номинальное напряжение электродвигателя, В	$U_H$	2x440
Номинальный ток электродвигателя, А	$I_H$	2460
Номинальный момент электродвигателя, Н·м	$M_H$	2x30411
Частота вращения номинальная, об/мин	$n_H$	315
Частота вращения максимальная, об/мин	$n_{\text{макс}}$	800
Число пар полюсов	$p$	8
Сопротивление обмотки якоря при $t=15^\circ\text{C}$ , Ом	$R_{\text{оя}}$	0,00331
Сопротивление компенсационной обмотки, Ом	$R_{\text{ко}}$	0,002
Сопротивление обмотки дополнительных полюсов, Ом	$R_{\text{дп}}$	0,001

Продолжение таблицы 2

Сопротивление обмотки возбуждения, Ом	$R_{ОВ}$	3.27
Число параллельных ветвей обмотки якоря	$2a$	8
Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	$J_{ДВ}$	1150
Номинальный ток возбуждения, А	$I_{ВН}$	1150
Поток электродвигателя номинальный, Вб	$\Phi_{ДВ.Н}$	0.23

### Расчетные параметры двигателя

Сопротивление двигателя в холодном состоянии

$$R_{ДВ} = R_{Оя} + R_{КО} + R_{ДП} = 0.00331 + 0.002 + 0.001 = 0.00631 \text{ Ом.}$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии

$$R_{ДВ.гор} = b \cdot R_{ДВ} = 1.38 \cdot 0.00631 = 0.0095 \text{ Ом,}$$

где  $b = 1 + 0.004t = 1.38$ - температурный коэффициент.

Номинальная скорость вращения двигателя

$$\omega_{Н} = \frac{\pi \cdot n_{Н}}{30} = \frac{3.14 \cdot 315}{30} = 32.97 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Максимальная скорость вращения двигателя

$$\omega_{\text{макс}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{макс}}}{30} = \frac{3.14 \cdot 800}{30} = 83.73 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Коэффициент ЭДС  $\left( \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right)$  и электромагнитного момента двигателя

$$\left( \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} \right).$$

$$c_{ДВ} = \frac{U_{Н} - I_{Н} \cdot R_{ДВ.гор}}{\omega_{Н}} = \frac{440 - 2460 \cdot 0.0095}{32.97} = 12.63 \left( \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right).$$

Индуктивность двигателя

$$L_{ДВ} = \frac{\gamma \cdot U_{Н}}{I_{Н} \cdot \omega_{Н} \cdot p} = \frac{0.1 \cdot 440}{2460 \cdot 32/97 \cdot 4} = 0.135 \text{ мГн,}$$

где  $\gamma = (0.1 \div 0.2)$  для компенсированных машин. Принимаем  $\gamma = 0.1$ .

## 2.2 Выбор тиристорного преобразователя

Основными техническими данными тиристорных преобразователей является номинальный выпрямленный ток ( $I_{dH}, A$ ) и номинальное выпрямленное напряжение ( $U_{dH}, B$ ). Методику выбора преобразователя берем из справочной литературы [3].

Выбор преобразователя осуществляем по номинальному напряжению и току двигателя с учетом коэффициентов перегрузки двигателя и преобразователя

Поскольку коэффициент перегрузки двигателя и преобразователя равны  $\lambda_{дв} = \lambda_{тп} = 2.25$ , то достаточными условиями выбора при  $U_H = 930 B$  и  $I_H = 2460 A$  являются:  $U_{dH} = 1050 B$  и  $I_{dH} = 2500 A$  преобразователя.

По литературе [3] выбираем комплектный тиристорный электропривод серии КТЭ 2500/930Е-100-04-00000- УХЛ4, в состав которого входит преобразователь с параметрами приведенными в таблице 3.

Таблица 3 - Параметры преобразователя серии КТЭ 2500/930Е

Наименование	Обозначение	Величина
Схема выпрямления	Трехфазная мостовая с отдельным управлением	
Номинальный выпрямленный ток, А	$I_{dH}$	2500
Номинальное выпрямленное напряжение, В	$U_{dH}$	1050
Номинальная выходная мощность, кВт	$P_{dH}$	2625
Напряжение управления, В	$U_y$	10
Перегрузочная способность по току длительностью 10 с	$\frac{I_{доп}}{I_{ном}}$	2.25

Продолжение таблицы 3

Угол управления начальный, град	$\alpha_{\text{нач}}$	110
Угол управления минимальный, град	$\alpha_{\text{мин}}$	30 <sup>0</sup>
Угол управления максимальный, град	$\alpha_{\text{макс}}$	160 <sup>0</sup>
Размах опорного напряжения на входе СИФУ, В	$2U_{\text{ОП.макс}}$	10
Коэффициент передачи управляющего органа на вход СИФУ	$k_{y0}$	0,5
Временная пауза при реверсировании, с	$t_3$	0.005

### 2.3 Выбор трансформатора

Основанием для выбора трансформатора является номинальный ток преобразователя  $I_{дн} = 2500$  А и напряжение  $U_{дн} = 1050$  В.

По литературе [3] выбираем масляный трансформатор ТМП-4000/10 параметры которого приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Параметры трансформатора ТМП-4000/10

Наименование	Обозначение	Величина
Схема соединения обмоток	$Y/\Delta - 11$	
Напряжение первичной обмотки, кВ	$U_{1л}$	I=10,5 II=10,0 III = 9,5
Напряжение вторичной обмотки, В	$U_{2л}$	915
Ток вторичной обмотки, А	$I_{2л}$	2040
Ток первичной обмотки, А	$I_{1л}$	186
Мощность, кВА	$P_1$	3230



Продолжение таблицы 4

Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя, В	$U_{dH}$	1050
Номинальный выпрямленный ток, А	$I_{dH}$	2500
Потери от протекания токов короткого замыкания, кВт	$\Delta P_{к.з}$	19,5
Потери в меди, кВт	$\Delta P_M$	32,7
Напряжение короткого замыкания, %	$U_{к.з}$	6

### Расчетные параметры трансформатора ТМП-4000/10

Активное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$R_{тр.ф} = \frac{\Delta P_{кз}}{m_2 \cdot I_{2ф}^2} = \frac{19500}{3 \cdot 2040^2} = 0.00156 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$Z_{тр.ф} = \frac{U_{кз} \cdot U_{2ф}}{100 \cdot I_{2ф}} = \frac{6 \cdot 528.48}{100 \cdot 2040} = 0.0155 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$X_{тр.ф} = \sqrt{Z_{тр.ф}^2 - R_{тр.ф}^2} = \sqrt{0.0155^2 - 0.00156^2} = 0.0154 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки фазы трансформатора

$$L_{тр.ф} = \frac{X_{тр.ф}}{\omega_c} = \frac{0.0154}{314} = 0.049 \text{ мГн,}$$

где  $\omega_c = 2\pi \cdot f_c = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}$  - угловая частота питающей сети.

### 2.4 Выбор сглаживающего реактора

Сглаживающий реактор выбираем из двух условий - ограничение зоны прерывистых токов и сглаживания пульсаций выпрямленного тока[1].

Из условия ограничения зоны прерывистых токов необходимое значение индуктивности якорной цепи:

$$L_{кн1} = \frac{U_{2ф} \cdot \kappa_{гр.макс}}{\omega_c \cdot \kappa_{U2} \cdot I_{гр.макс}} = \frac{528.48 \cdot 0.093}{314 \cdot 0.428 \cdot 246} = 1.49 \text{ мГн},$$

где  $I_{гр.макс} = 0.1 \cdot I_H = 246 \text{ А}$  - допустимое значение граничного тока;

$$\kappa_{гр.макс} = 1 - \frac{\pi}{m_B} \text{ctg} \frac{\pi}{m_B} = 1 - \frac{3.14}{6} \text{ctg} \frac{3.14}{6} = 0.093.$$

Требуемое значение индуктивности сглаживающего реактора

$$L_{др1} = L_{кн1} - 2L_{тр.ф} - 2L_{дв} = 1.49 - 2 \cdot 0.049 - 2 \cdot 0.135 = 1.12 \text{ мГн}.$$

Необходимое значение индуктивности якорной цепи из условия ограничения пульсаций выпрямленного тока:

$$L_{кн2} = \frac{E_{d(1)max} \cdot 100}{\omega_c \cdot m_B \cdot I_d \cdot P_{1(\%)}} = \frac{299.24 \cdot 100}{314 \cdot 6 \cdot 2460 \cdot 7} = 0.91 \text{ мГн},$$

где  $E_{d(1)max} = \frac{U_{2ф} \cdot \sqrt{2} \cdot m_B}{\kappa_{U2} \cdot (m_B^2 - 1)} = \frac{528.48 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{0.428 \cdot (6^2 - 1)} = 299.24 \text{ В}$ , - действующее

значение первой гармоники выпрямленного тока.

$P_{1(\%)} = (2 \div 7)\%$  допустимое действующее значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах, принимаем  $P_{1(\%)} = 7$  при угле управления  $\alpha = 90^\circ$  и номинальном токе  $I_{дн}$  преобразователя.

Требуемое значение индуктивности дросселя

$$L_{др2} = L_{кн2} - 2L_{тр.ф} - 2L_{дв} = 0.91 - 2 \cdot 0.049 - 2 \cdot 0.135 = 0.542 \text{ мГн}.$$

По литературе [3] выбираем сглаживающий реактор типа ТРОС -1600/УХЛ4 с естественным воздушным охлаждением, открытого исполнения.

Параметры реактора приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Параметры реактора ТРОС - 1600/УХЛ4

Наименование	Обозначение	Величина
Номинальный постоянный ток, А	$I_{др}$	2500
Номинальная индуктивность, мГн	$L_{др}$	0,8
Потери в реакторе, кВт	$\Delta P_{др}$	13,6
Активное сопротивление реактора, Ом	$R_{др} = \frac{\Delta P_{др}}{I_{др}^2}$	0,00212

## 2.5 Определение параметров якорной цепи

Эквивалентное сопротивление якорной цепи

$$R_{яц} = 2R_{дв.гор} + 2R_{тр.ф} + R_{др} + R_k + R_{ш} = \\ = 2 \cdot 0.0095 + 2 \cdot 0.00156 + 0.00121 + 0.015 + 0.00095 = 0.0401 \text{ Ом},$$

где  $R_{ш} = 0.1R_{дв.гор} = 0.00095$  Ом - сопротивление соединительных проводов;

$$R_k = \frac{m_b \cdot X_{тр.ф}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 0.0154}{2 \cdot 3.14} = 0.0147 \text{ Ом}, \quad - \text{ сопротивление, учитывающее}$$

коммутацию токов вентиляей.

Эквивалентная индуктивность якорной цепи

$$L_{\text{я}} = 2L_{дв} + 2L_{тр.ф} + L_{др} = 2 \cdot 0.135 + 2 \cdot 0.049 + 0.8 = 0.00117 \text{ Гн}.$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{0.00117}{0.0401} = 0.03 \text{ с}.$$

Электромагнитная постоянная цепи двигателя

$$T_{дв} = \frac{2L_{дв}}{2R_{дв}} = \frac{2 \cdot 0.135 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0.0095} = 0.0142 \text{ с}.$$

Так как двигатель двухякорный, то в дальнейших расчётах принимаем

$$c = 2c_{дв} = 2 \cdot 12.63 = 25.26 \left( \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right).$$

Электрохимическая постоянная времени

$$T_M = \frac{J_{\text{э}} \cdot R_{\text{яц}}}{c^2} = \frac{1150 \cdot 0.0401}{25.26^2} = 0.0722 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления (максимальное значение) тиристорного преобразователя [3]

$$K_{\text{ТП.макс}} = \frac{\pi \cdot \kappa_{\text{У0}} \cdot E_{d0}}{2U_{\text{ТП.макс}}} = \frac{3.14 \cdot 0.5 \cdot 1235.75}{10} = 194.1,$$

где

$$E_{d0} = \frac{U_{2\phi}}{\kappa_{U2}} = \frac{915}{\sqrt{3} \cdot 0.428} = 1235.75 \text{ В}$$

- ЭДС холостого хода преобразователя [1] при  $\alpha = 0$ ;

-  $\kappa_{U2} = 0.428$  коэффициент схемы выпрямления для трехфазной мостовой схемы [1].

Сопротивление тиристорного преобразователя

$$R_{\text{ТП}} = 2 \cdot R_{\text{тр.ф}} + R_{\text{Т}} = 2 \cdot 0.00156 + 0.015 = 0.01812 \text{ Ом.}$$

Индуктивность тиристорного преобразователя

$$L_{\text{ТП}} = 2L_{\text{тр.ф}} = 2 \cdot 0.049 = 0.098 \text{ мГн.}$$

Упрощенная схема силовой цепи системы ТП-Д приведена на рисунке 3.

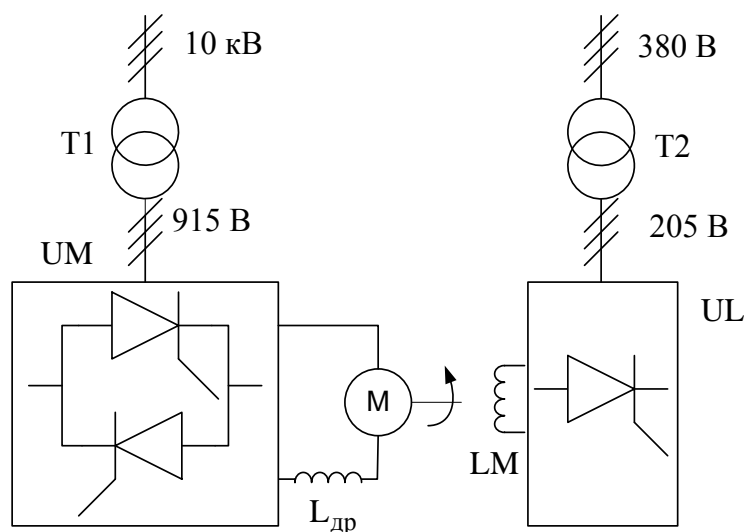


Рисунок 3 - Схема силовой цепи системы ТП-Д

Т- силовой трансформатор, UM - тиристорный преобразователь якоря; М - электрическая машина; LM - обмотка возбуждения электрической машины; UL – выпрямитель возбуждения.

## 2.6 Определение области работы электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик привода, ограниченная значениями  $\omega = \pm\omega_{\text{эл.макс}}$  и  $I(\omega) = \pm I_{\text{доп}}(\omega)$ , должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой системы преобразователь - двигатель [1]. Последняя в свою очередь ограничена предельными характеристиками, соответствующей работе проводящей группы вентиля в режиме предельного инвертирования, а в выпрямительном режиме при минимальном угле управления.

Выполнение этого условия требует значительного запаса по напряжению и мощности преобразователя, поэтому такой подход может быть рекомендован только при проектировании электроприводов, от которых требуется реализация предельных динамических возможностей исполнительных двигателей. В остальных случаях возможно без значительного снижения быстродействия обеспечить требования к запасу по напряжению и мощности. Однако и в этом случае должны быть выполнены следующие условия: при пониженном напряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления электромеханическая характеристика разомкнутой системы должна быть выше точки с координатами  $\omega = \omega_{\text{эл.макс}}$  и  $I = I_{\text{н}}$ , а при реверсировании электропривода должно обеспечиваться безопасное инвертирование при допустимом токе двигателя. Для электроприводов с повышенными требованиями к динамическим показателям следует стремиться обеспечить,  $I_{\text{макс}} = I_{\text{доп}}(\omega)$ , а в остальных случаях ограничиться условием  $I_{\text{макс}} \geq I_{\text{н}}$ .

Область работы электропривода задана в 4-х квадрантах координат где  $\omega_{\text{эл.макс}} = 32.97 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  - максимальная угловая скорость электропривода,  $I_{\text{макс}} = 5000 \text{ A}$  - максимально допустимый ток электропривода.

## Работа электропривода в I и III квадрантах

Электрическая машина работает в двигательном режиме. Группа «Вперед» (I квадрант) или группа «Назад» (III квадрант) преобразователя работают в выпрямительном режиме (угол управления  $\alpha < 90^\circ$ ).

Характеристики рассчитаем при пониженном напряжении сети  $k_{Uc} = 0.9$ .

Минимальный угол управления преобразователем

$$\alpha_{\min} \leq \arccos\left(\frac{c \cdot \omega_{\text{ЭП.макс}} + I_{\text{дв.н}} \cdot R_{\text{яц}}}{k_{Uc} \cdot E_{d0}}\right);$$
$$\alpha_{\min} \approx \arccos\left(\frac{25.26 \cdot 32.97 + 2460 \cdot 0.0401}{0.9 \cdot 1235.75}\right) = 33.12 \text{ град.}$$

Принимаем  $\alpha_{\min} = 30^\circ$ .

Электрохимическая характеристика разомкнутой системы преобразователь - двигатель при  $\alpha_{\text{иср}} = 30^\circ$  (характеристика 1 на рис.4) рассчитывается по выражению

$$\omega(I_{\text{я}}) = \frac{1}{c} \cdot (k_{Uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\min} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{я}}) = \frac{1}{25.26} \cdot (0.9 \cdot 1235.75 \cdot \cos 30^\circ - 0.0401 \cdot I_{\text{я}}).$$

Результаты расчета сводим в таблицу 6.

Таблица 6 - Электрохимическая характеристика при  $\alpha_{\min} = 30^\circ$

$I_{\text{я}}, \text{А}$	$I_{\text{я}} = 0$	$I_{\text{я.ном}}$	$I_{\text{я.макс}}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	38.13	34.22	30.19

## Работа электропривода в II и IV квадрантах

Электрическая машина работает в генераторном режиме. Группа «Назад» (II квадрант) или группа «Вперед» (IV квадрант) преобразователя работают в инверторном режиме (угол управления  $\alpha > 90^\circ$ ).

Предельная характеристика безопасного инвертирования при работе преобразователя в инверторном режиме (характеристика 2 на рис.4) рассчитывается по выражению

$$\begin{aligned}\omega(I_{я}) &= \frac{1}{c} \cdot [k_{Uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \delta - (R_{тп} - R_{щюдв}) \cdot I_{я}] = \\ &= \frac{1}{25.26} [0.9 \cdot 1235.75 \cdot \cos 5 - (0.01812 - 0.02198) \cdot I_{я}],\end{aligned}$$

где  $R_{щюдв} = R_{щ} - R_{тп} = 0.0401 - 0.01812 = 0.02198$  Ом,

$\delta = 5$  град.

Результаты расчета сводим в таблицу 7.

Таблица 7 - Характеристика предельного инвертирования (II квадрант)

$I_{я}, А$	$I_{я} = 0$	$-I_{я.ном}$	$-I_{я.макс}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	43.86	44.23	44.62

Максимальный угол управления преобразователем при работе в инверторном режиме определяется по выражению

$$\begin{aligned}\alpha_{макс} &= \arccos \left( \frac{2 \cdot R_{тп} \cdot I_{эл.макс}}{k_{Uc} \cdot E_{d0}} - \cos \delta \right) = \\ &= \arccos \left( \frac{2 \cdot 0.01812 \cdot 5000}{0.9 \cdot 1235.75} - \cos 5^{\circ} \right) = 146.4 \text{ град.}\end{aligned}$$

Принимаем  $\alpha_{макс} = 150$  град.

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы преобразователь - двигатель при  $\alpha_{макс} = 150$  град (характеристика 3 на рис. 4).

$$\begin{aligned}\omega(I_{я}) &= \frac{1}{c} \cdot (-k_{Uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{мин} - R_{щ} \cdot I_{я}) = \\ &= \frac{1}{25.26} \cdot (-0.9 \cdot 1235.75 \cdot \cos 150 - 0.0401 \cdot I_{я}).\end{aligned}$$

Результаты расчета сводим в таблицу 8.

Таблица 8 - Электромеханическая характеристика при  $\alpha_{макс} = 150$  град

$I_{я}, А$	$I_{я} = 0$	$-I_{я.ном}$	$-I_{я.макс}$
$\omega, \frac{рад}{с}$	38.13	42.03	46.06

По результатам таблиц 6 – 8 строим характеристики системы ТП-Д, представленные на рисунке 4.

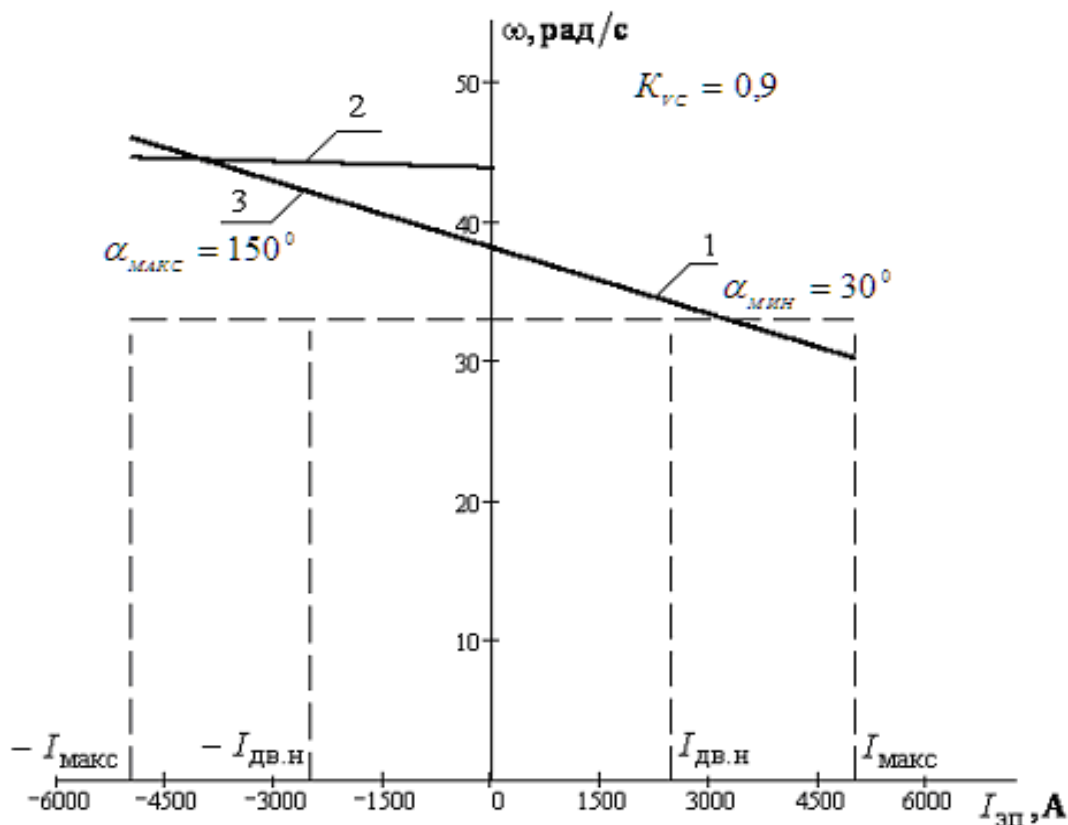


Рисунок 4 – Область работы и предельные характеристики электропривода

Выводы: Характеристика 1 расположена выше точки с координатами  $\omega = \omega_{\text{ЭП.макс}}$  и  $I = I_{\text{н}}$ , характеристика предельного инвертирования 2 не пересекает заданную область существования электромеханических характеристик привода, это условие достаточное для безопасного инвертирования, если скорость привода  $\omega \leq \omega_{\text{ЭП.макс}}$ .

## 2.7 Механическая система электропривода



Кинематические схемы механической части электроприводов промышленных агрегатов могут быть весьма сложными, состоящими из нескольких инерционных масс и соединяющих их упругих связей. На практике упругую механическую систему удастся свести к двухмассовой.

Расчетная схема механической системы барабанных ножниц может быть представлена в виде простейшей двухмассовой на рисунке 5.

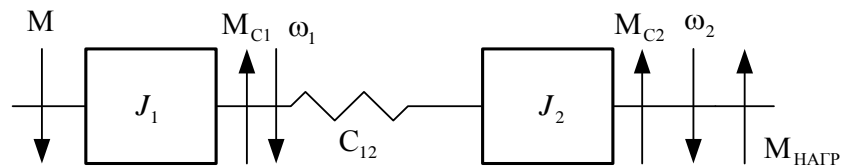


Рисунок 5 - Расчетная схема замещения механической системы

### Параметры расчетной схемы

Момент инерции вала 4 (см. рисунок 2)

$$J_{\text{вала}} = \kappa \cdot \pi \cdot \frac{R^4}{2} \cdot L \cdot \gamma = 1.5 \cdot 3.14 \cdot \frac{0.14^4}{2} \cdot 6.96 \cdot 7800 = 49.12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции муфт 2 (см. рисунок 2) [12]

$$J_{\text{муфт}} = (0.5 \div 0.6) \cdot J_{\text{вала}} = 0.6 \cdot 49.12 = 30 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции первой массы

$$J_1 = J_{\text{дв}} + 0.5 \cdot (J_{\text{вала}} + J_{\text{муфт}}) = 910 + 0.5 \cdot (49.12 + 30) = 950 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции второй массы

$$J_2 = J_{\text{м}} - 0.5 \cdot (J_{\text{вала}} + J_{\text{муфт}}) = 240 - 0.5 \cdot (49.12 + 30) = 200 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Коэффициент угловой жесткости вала 4 [12]

$$C_{\phi 12} = \frac{\pi \cdot d_{\text{в}}^4 \cdot G}{32 \cdot \kappa \cdot L} = \frac{3.14 \cdot 0.28^4 \cdot 8.1 \cdot 10^{10}}{32 \cdot 1.5 \cdot 6.96} = 467946.6 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}},$$

где  $G = 8.1 \cdot 10^{10} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$  - модуль сдвига для стали.

На рисунке 6 приведена структурная схема двухмассовой механической системы (ДМС) привода барабанных ножниц.

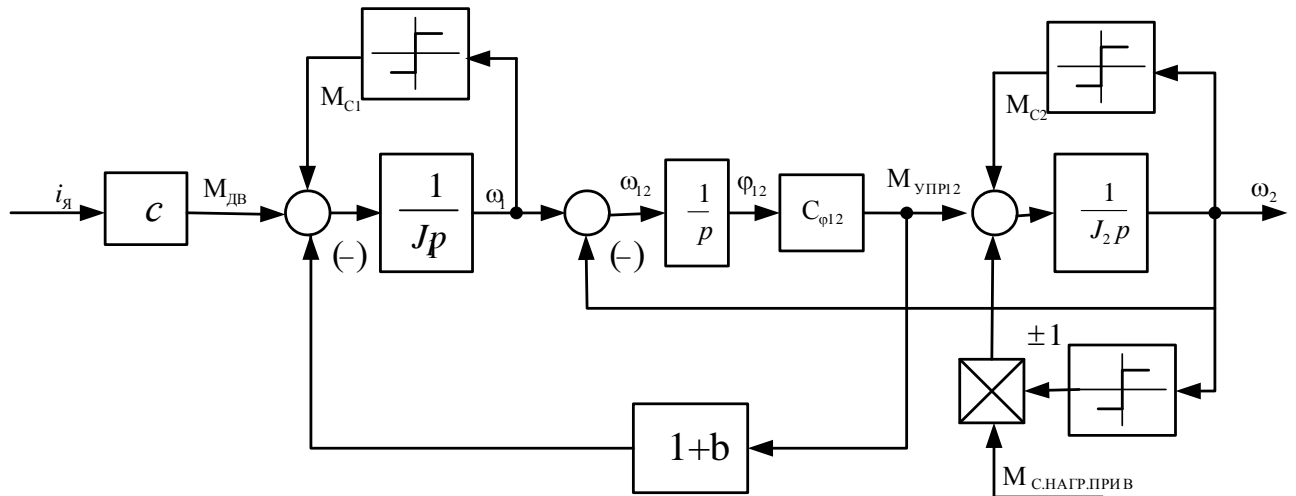


Рисунок 6 - Структурная схема ДМС привода барабанных ножниц

### Параметры двухмассовой механической системы

Момент сопротивления на валу первой массы

$$M_{c1} = M_{c,дв} = M_{эм.н} - M_{дв.н} = 63139.6 - 60661.2 = 1478.4 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $M_{эм.н} = c \cdot I_{дв.н} = 25.26 \cdot 2460 = 63139.6 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , - электромагнитный момент двигателя.

Момент сопротивления постоянных потерь на трение на валу второй массы

$$M_{c2} = M_{пост} = a \cdot M_{пер} = 0.088 \cdot 60823.4 = 5352.46 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где

$$a = b = \frac{1 - \eta_{пер}}{2\eta_{пер}} = \frac{1 - 0.85}{2 \cdot 0.85} = 0.088, \text{ - коэффициент постоянных и переменных}$$

потерь в механизме.

Момент нагрузки (реза) максимальный

$$M_{с.нагр} = (0.15 \div 1) M_{дв.н} = 9123.3 \div 60822 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Угловая частота собственных колебаний двухмассовой системы

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{J_1 + J_2}{J_1 \cdot J_2}} \cdot c_{12} = 53.219 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ или } f_{12} = \frac{\omega_{12}}{2 \cdot \pi} = 8.47 \text{ Гц.}$$

В линеаризованных системах с целью упрощения расчетов используется одномассовая механическая схема (ОМС) (рисунок 7), тогда эквивалентный момент инерции одномассовой системы

$$J_{\Sigma} = J_1 + J_2 = 950 + 200 = 1150 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент сопротивления типа сухого трения

$$M_c = M_{c1} + M_{c2} = 1478.4 + 5352.46 = 6830.86 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

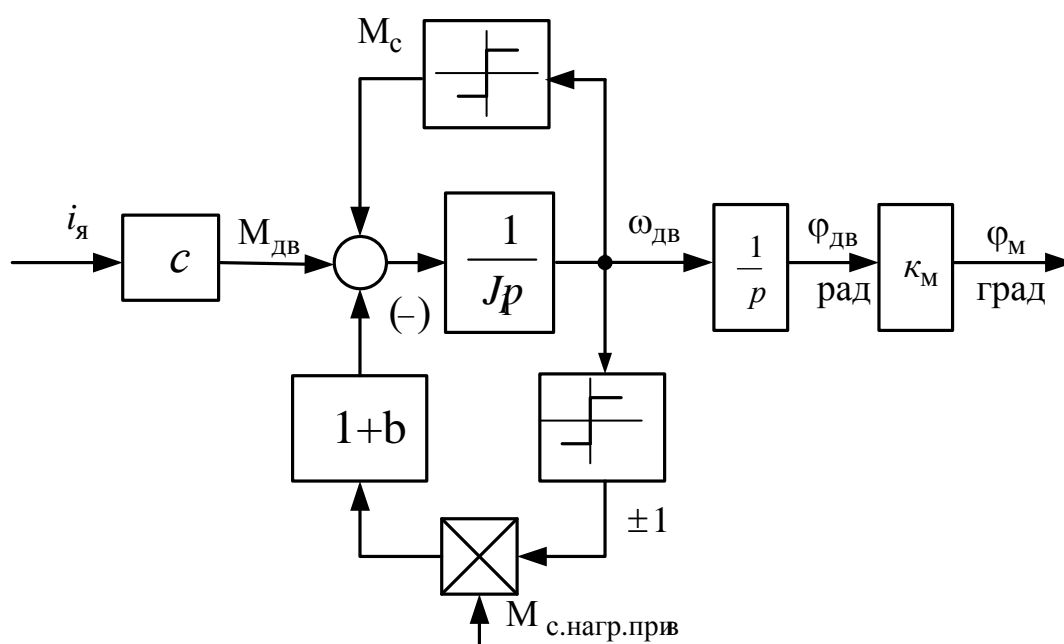


Рисунок 7 - Структурная схема ОМС привода барабанных ножниц  
Коэффициент передачи механизма

$$K_M = \frac{360}{i_{ред} \cdot 2\pi} = \frac{360}{3.714 \cdot 6.28} = 15.43 \frac{\text{град}}{\text{рад}}.$$

## 2.8 Расчет параметров цепи возбуждения

Кривая намагничивания двигателя [12] приведена на рисунке 8.

Сопротивление обмотки возбуждения в горячем состоянии

$$R_{ов.гор} = 1.3R_{ов} = 1.3 \cdot 3.27 = 4.25 \text{ Ом}.$$

Напряжение возбуждения

$$U_{\text{ов.гор}} = I_{\text{ов.н}} \cdot R_{\text{ов.гор}} = 32 \cdot 4.25 = 136 \text{ В.}$$

Индуктивность цепи основного потокосцепления в точке номинального режима

$$L_{\text{ов.мин}} = 2 \cdot p \cdot \omega_{\text{ов}} \cdot \frac{\Delta \Phi_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{ов.н}}} = 2 \cdot 4 \cdot 170 \cdot \frac{0.23}{32} = 9.7 \text{ Гн.}$$

Индуктивность потока рассеяния

$$L_s = 2 \cdot p \cdot \omega_{\text{ов}} \cdot \frac{0.18 \Phi_{\text{н}}}{I_{\text{ов.н}}} = 2 \cdot 4 \cdot 170 \cdot \frac{0.18 \cdot 0.23}{32} = 1.76 \text{ Гн.}$$

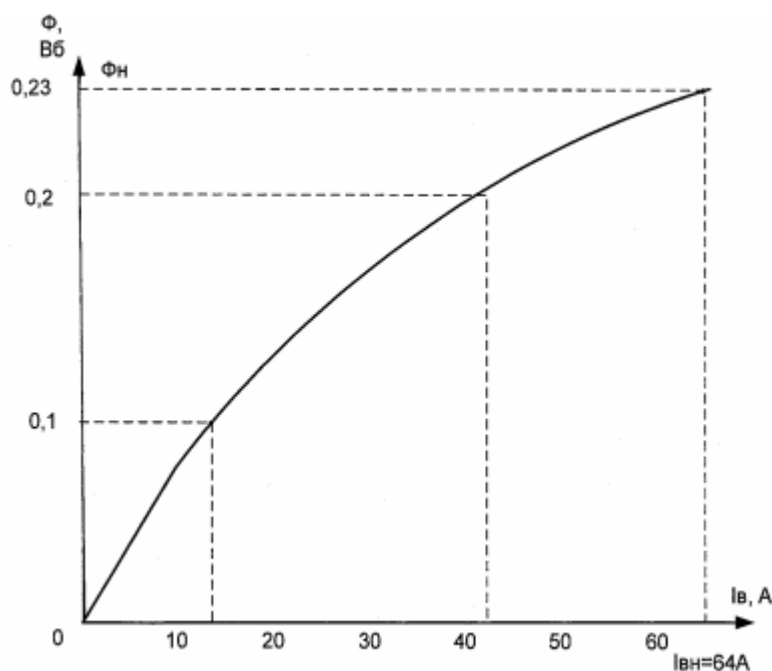


Рисунок 8 - Кривая намагничивания двигателя МП 2000/ 315 У4

Для питания обмотки возбуждения выбираем, тиристорный возбудитель серии КТЭ 100/230М-01Т-00-00000-УХЛ4 [3] , параметры возбудителя приведены в таблице 9.

Исходя из значений тока и напряжения обмотки возбуждения выбираем сухой трехфазный двухобмоточный трансформатор типа ТСП 25/0.7- УХЛ4 [3], параметры трансформатора приведены в таблице 10.

Таблица 9 - Параметры тиристорного преобразователя цепи возбуждения

Наименование	Обозначение	Величина
Схема выпрямления		Трехфазная мостовая
Напряжение сети, В	$U_{\text{сн.тпв}}$	3х380
Номинальный ток, А	$I_{\text{н.тпв}}$	100
Номинальная выходная мощность, кВт	$P_{\text{н.тпв}}$	23
Номинальное напряжение, В	$U_{\text{н.тпв}}$	230
Угол управления начальный, град	$\alpha_{\text{нач}}$	150
Угол минимальный, град	$\alpha_{\text{мин}}$	30
Угол максимальный, град	$\alpha_{\text{макс}}$	160
Размах опорного напряжения на входе СИФУ, В	$2U_{\text{оп.макс}}$	10

Таблица 10 - Параметры трансформатора цепи возбуждения ТСП 25/0.7

Наименование	Обозначение	Величина
Группа соединения обмоток трансформатора	$Y/\Delta - 11$	
Напряжение первичной обмотки, В	$U_{1л}$	380
Напряжение вторичной обмотки, В	$U_{2л}$	205
Ток вторичной обмотки, А	$I_2$	82
Мощность, кВА	S	29,1
Номинальное выпрямленное напряжение, В	$U_{dн}$	230
Номинальный выпрямленный ток, А	$I_{dн}$	100
Потери от протекания токов короткого замыкания, кВт	$\Delta P_{\text{к.з}}$	1,1
Напряжение короткого замыкания, %	$U_{\text{к.з}}$	5,5

**Расчетные параметры трансформатора ТСП 25/0.7**

Активное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$R_{\delta \delta} = \frac{\Delta \mathcal{E}_{\hat{e}_c}}{m_2 \cdot I_{2\delta}^2} = \frac{1100}{3 \cdot 82^2} = 0.054 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$Z_{\text{тр.}\phi} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_{2\phi}}{100 \cdot I_{2\phi}} = \frac{5.5 \cdot 145}{100 \cdot 82} = 0.097 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$X_{\text{тр.}\phi} = \sqrt{Z_{\text{тр.}\phi}^2 - R_{\text{тр.}\phi}^2} = \sqrt{0.097^2 - 0.054^2} = 0.08 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки фазы трансформатора

$$L_{\text{тр.}\phi} = \frac{X_{\text{тр.}\phi}}{\omega_c} = \frac{0.08}{314} = 0.254 \text{ мГн}.$$

### Расчётные параметры цепи обмотки возбуждения

Сопротивление цепи обмотки возбуждения

$$R_{\text{ц.в}} = 1.1 \cdot \frac{R_{\text{ов.гор}}}{2} + 2R_{\text{тр.}\phi} + R_{\text{к}} = 1.1 \cdot \frac{4.25}{2} + 2 \cdot 0.054 + 0.076 = 2.52 \text{ Ом},$$

где  $R_{\text{к}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot X_{\text{тр.}\phi}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 0.08}{2 \cdot 3.14} = 0.076 \text{ Ом}$ , - сопротивление, учитывающее коммутацию

токов вентиляей.

Индуктивность цепи возбудителя

$$L_{\text{тпв}} = 2 \cdot L_{\text{тр.}\phi} = 2 \cdot 0.254 = 0.508 \text{ мГн}.$$

Постоянная времени основного потокосцепления обмотки возбуждения двигателя

$$T_{\text{ов}} = \frac{L_{\text{ов}}}{R_{\text{ов.ц}}} = \frac{9.7}{2.52} = 3.85 \text{ с}.$$

Постоянная времени потока рассеяния цепи возбуждения

$$T_{\text{с}} = \frac{L_{\text{с}} + L_{\text{тпв}}}{R_{\text{ов.ц}}} = \frac{1.76 + 0.508 \cdot 10^{-3}}{2.52} = 0.698 \text{ с}.$$

Постоянная времени контура вихревых токов

$$T_k = 0.1 \cdot T_{об} = 0.1 \cdot 3.85 = 0.385 \text{ с.}$$

Большая постоянная времени контура тока возбуждения

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{T_{об} + T_s + T_k}{2} + \sqrt{\left(\frac{T_{об} + T_s + T_k}{2}\right)^2 - T_s \cdot T_k} = \\ &= \frac{3.85 + 0.698 + 0.385}{2} + \sqrt{\left(\frac{3.85 + 0.698 + 0.385}{2}\right)^2 - 0.696 \cdot 0.385} = 4.87 \text{ с.} \end{aligned}$$

Малая постоянная времени контура тока возбуждения

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{T_{об} + T_s + T_k}{2} - \sqrt{\left(\frac{T_{об} + T_s + T_k}{2}\right)^2 - T_s \cdot T_k} = \\ &= \frac{3.85 + 0.698 + 0.385}{2} - \sqrt{\left(\frac{3.85 + 0.698 + 0.385}{2}\right)^2 - 0.696 \cdot 0.385} = 0.0551 \text{ с.} \end{aligned}$$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя в цепи обмотки возбуждения, выполненным по трёхфазной мостовой схеме с нулевым вентелем.

$$k_{ТПВ} = \frac{0.5 \cdot \pi \cdot \kappa_{y0} E_{d0}}{U_{упв.макс}} = \frac{0.5 \cdot 3.14 \cdot 0.5 \cdot 277}{10} = 21.74,$$

где  $E_{d0} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{2} \cdot \kappa_{U2}} = \frac{205}{\sqrt{3} \cdot 0.428} = 277 \text{ В}$ , - ЭДС холостого хода тиристорного

преобразователя цепи обмотки возбуждения.

Постоянная времени тиристорного преобразователя цепи возбуждения

$$T_{ТПВ} = T_{\mu T} = 0.00167 \text{ с.}$$

## 2.9 Силовой канал электропривода как объект управления

Структурная схема силового канала электропривода барабанных ножниц приведена на рисунке 9.

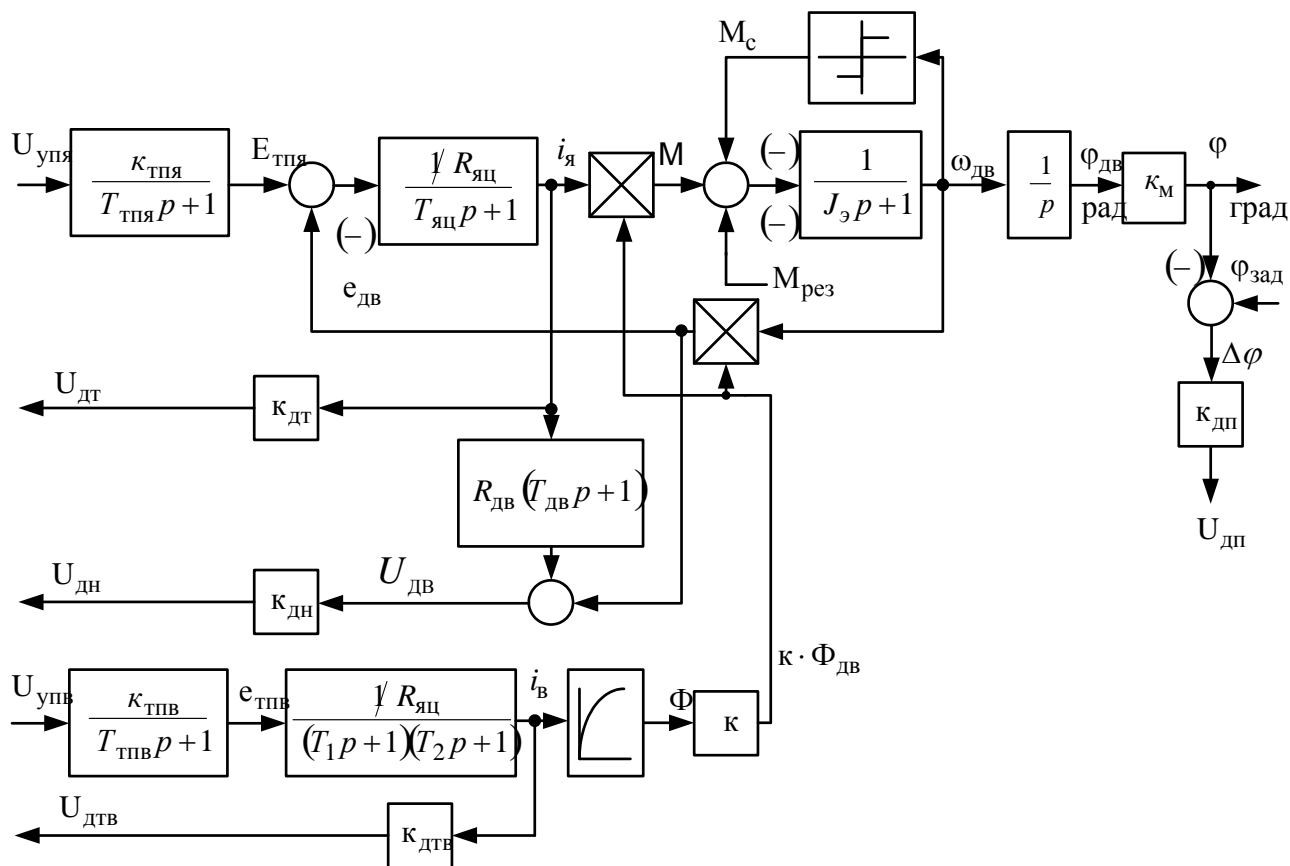


Рисунок 9 - Структурная схема силового канала электропривода

### Параметры силового канала

Коэффициент передачи датчика тока якоря

$$K_{дгя} = \frac{U_{дт.макс}}{I_{дн}} = \frac{10}{2500} = 0.004 \frac{В}{А}.$$

Коэффициент передачи датчика напряжения

$$K_{дн} = \frac{U_{дн.макс}}{U_{вх}} = \frac{10}{1000} = 0.01, \text{ - где } U_{вх} = 1000 \text{ В.}$$

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения

$$K_{дтв} = \frac{U_{дт.макс}}{I_{днв}} = \frac{10}{100} = 0.1 \frac{В}{А}.$$

Характеристика датчика положения приведена на рисунке 10.



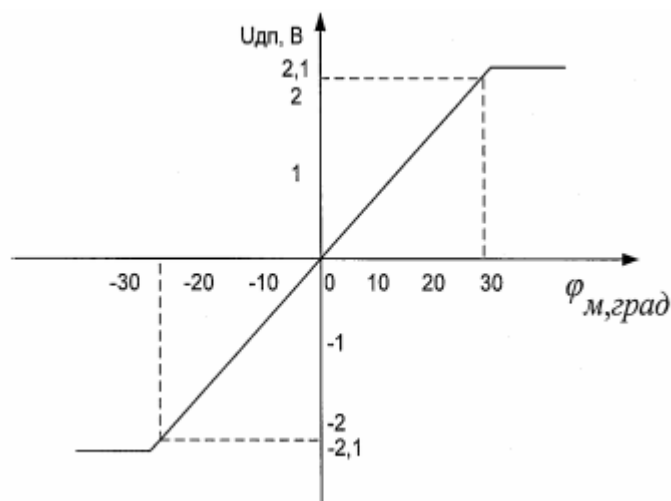


Рисунок 10 - Характеристика датчика положения

Параметры всех элементов силового канала сведем в таблицу 11.

Таблица 11 - Параметры элементов силового канала

$\kappa_{я}$	$R_{яц},$ Ом	$J_{э},$ кг·м <sup>2</sup>	$T_{тп},$ с	$T_{яц},$ с	$T_{дв},$ с	$R_{дв},$ Ом	$\kappa_{дгя},$ В/А
194.1	0.0401	1150	0.00167	0.03	0.0142	0,019	0,004

$\kappa_{дн}$	$\kappa_{дгв},$ В/А	$\kappa_{м}$	$\kappa_{тпв}$	$R_{цв},$ Ом	$T_1,$ с	$T_2,$ с	С	$\Phi_{дв},$ Вб
0.01	0,1563	15,43	21.74	2.52	4.87	0.0551	25,26	0,23

### 2.3 Расчет электромеханических характеристик реверсивного тиристорного преобразователя

Скорость вращения вала электродвигателя:

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

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

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

$\Delta U_\epsilon$  – прямое падение напряжение на тиристоре.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

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

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

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

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

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристорov  $\alpha$  (в диапазоне  $0 \dots 180$ ) и угол проводимости  $\lambda$  ( $0 \dots 60$ ), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 11:

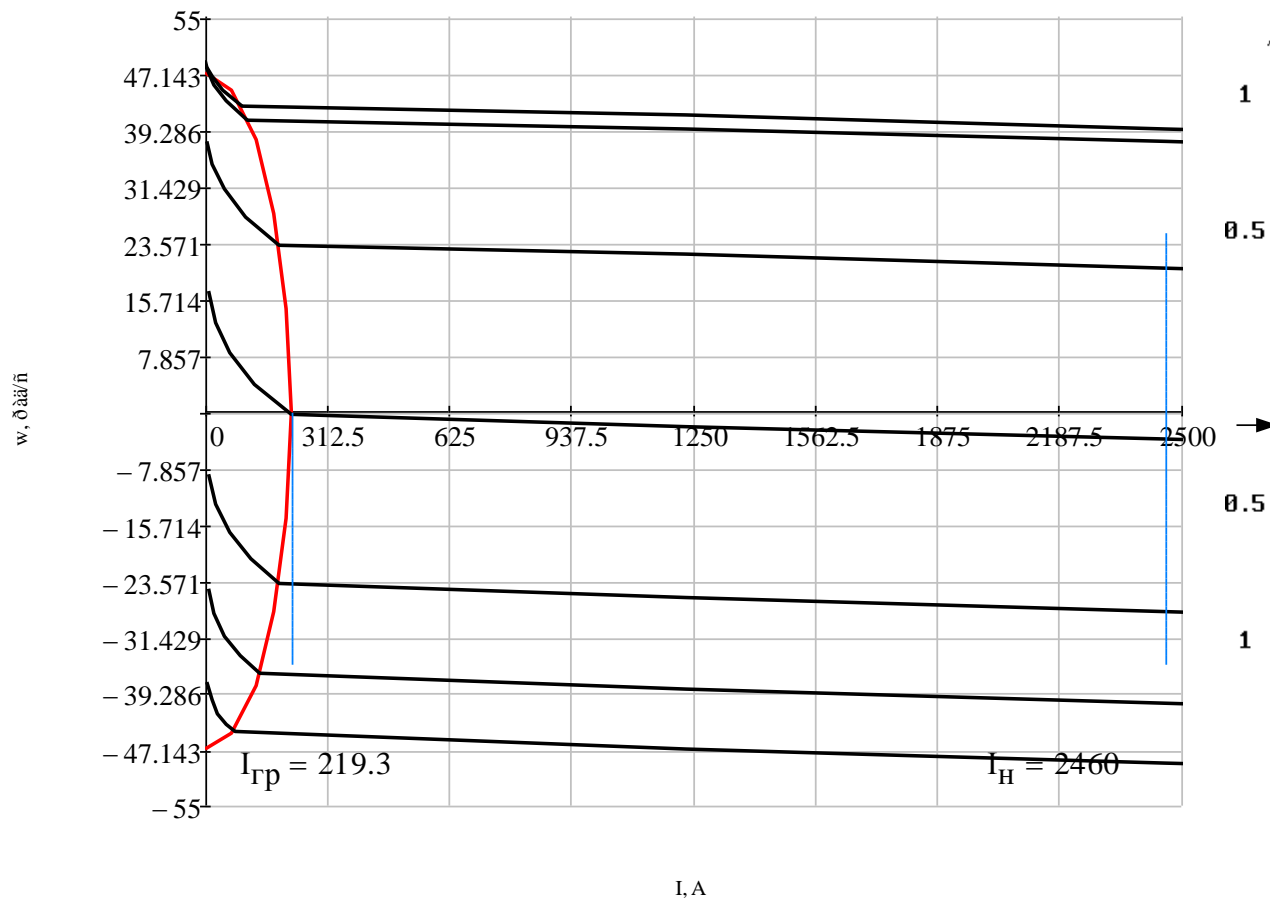


Рисунок 11 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с раздельным управлением

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

### **3. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

#### **3.1 Линеаризованная САУ электропривода барабанных ножниц**

В настоящее время широкое применение получил СЭП постоянного тока с тиристорным преобразователем, выполненный в общем случае по многоконтурной структурной схеме с последовательной коррекцией.

При создании современных систем автоматизированного электропривода применяют главным образом принцип последовательной коррекции или так называемого подчиненного регулирования.

Сущность принципа последовательной коррекции заключается в следующем. Объект управления - силовая часть электропривода - представляется в виде последовательно соединенных звеньев, выходными параметрами которых являются существенные координаты объекта, например, напряжение, ток, момент, ЭДС, скорость, положение, ток возбуждения.

Для управления каждой из этих координат организуется отдельный регулятор, образующий с соответствующими звеньями объекта и цепью обратной связи по регулируемой координате, замкнутый контур регулирования. Регуляторы соединяются последовательно, так что выход одного является входом другого, а замкнутые контуры регулирования образуют многоконтурную систему.

Выходной сигнал регулятора каждого внешнего контура является задающим для последующего, заключенного внутри его контура. Другими словами, каждый внутренний контур регулирования подчинен соответствующему внешнему.

Система автоматического регулирования должна быть представлена в виде структурной схемы. Структурная схема автоматизированного управления приведена на рисунке 24.

Линеаризованная структура следящего электропривода барабанных ножниц представляет собой трехконтурную систему подчиненного регулирования. Каждый контур содержит последовательно включенный регулятор, не более двух инерционных звеньев 1 -го порядка с большими постоянными времени  $T_1$  и  $T_2$  или одно интегрирующее звено с постоянной времени  $T_0$  и ряд инерционных звеньев первого порядка с малыми постоянными времени  $T_{\mu i}$ , включая в общем случае и внутренний оптимизированный контур.

Для получения структурной схемы линеаризованной системы необходимо сделать предположение, что кинематические цепи привода являются идеальными и все функциональные элементы схемы работают в зоне изменения параметров, не выходящих за пределы ограничений.

### 3.2 Оптимизация контура тока

Контур тока настраивается на модульный оптимум (МО) по методике синтеза, изложенной в [13] при коэффициенте оптимизации  $a_T = 2$ .

Структурная схема контура приведена на рисунке 11, где пунктирной линией показана неучтенная обратная связь по ЭДС двигателя. Оптимизацию контура тока осуществляем без учета обратной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем.

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными времени  $T_{яц} = 0.03$ с и  $T_{тп} = 0.00167$  с.

Соотношение  $\frac{T_{яц}}{T_{тп}} = 17.9$  - значительно больше единицы, следовательно

принимаем:

- $T_{тп} = T_{тп} = 0.00167$ с - малая постоянная времени контура;
- $T_{яц} = 0.03$ с - большая постоянная контура, которую следует компенсировать.

Влияние ЭДС двигателя на работу контура тока оценивается отношением постоянных времени  $\frac{T_M}{T_{яц}} = \frac{0.0726}{0.03} = 2.6$ , в нашем случае это соотношение больше 2.5, значит влияние ЭДС будет слабое.

Для повышения быстродействия и улучшения других показателей качества в переходных режимах выбираем регулятор тока пропорционально-интегрального (ПИ) типа.

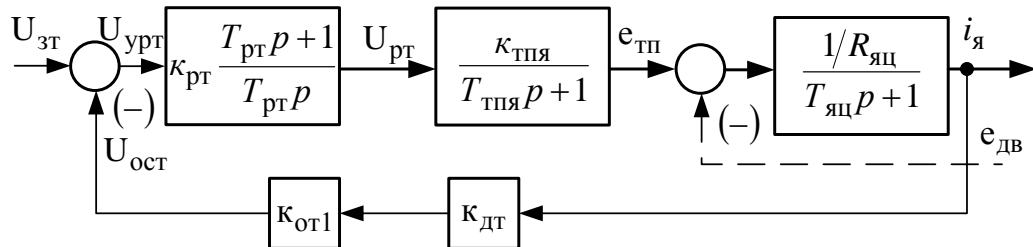


Рисунок 11 - Структурная схема контура тока в режиме заторможенного двигателя

### Параметры регулятора тока и цепи обратной связи по току

Коэффициент обратной связи по току двигателя

$$k_T = \frac{U_{рТ.макс}}{I_{эп.макс}} = \frac{10}{5000} = 0.002 \frac{В}{А}.$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$$k_{от1} = \frac{k_T}{k_{дт}} = \frac{0.002}{0.004} = 0.5 \frac{В}{А}, \text{ - где коэффициент датчика тока } k_{дт} = 0.004.$$

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{рТ} = T_{яц} = 0.03 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{рТ} = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{k_{я} \cdot k_T \cdot a_T \cdot T_{\muТ}} = \frac{0.03 \cdot 0.0401}{194.1 \cdot 0.002 \cdot 2 \cdot 0.00167} = 0.927.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$W(p)_{\text{кт.з}} = \frac{1/\kappa_T}{a_T \cdot T_{\text{мт}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\text{мт}} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{1/0.002}{2 \cdot 0.00167^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0.00167 p + 1} = \frac{500}{0.0000056 p^2 + 0.00334 p + 1}.$$

Передаточная функция разомкнутого контура тока

$$W(p)_{\text{кт.р}} = \frac{1/\kappa_T}{a_T \cdot T_{\text{мт}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\text{мт}} \cdot p} = \frac{500}{0.0000056 p^2 + 0.00334 p}.$$

Ожидаемые показатели качества работы контура тока:

- перерегулирование  $\sigma = 4.3\%$ ;

- время первого согласования при обработке ступенчатого входного сигнала и время переходного процесса (окончательного вхождения в 5% зону)

$$t_{\text{py1}} = t_{\text{py2}} = 4.1 \cdot T_{\text{мт}} = 0.0069 \text{ с};$$

- полоса пропускания по модулю и фазе

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{м})} = \omega_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \frac{0.71}{T_{\text{мт}}} = 425.15 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ или } f_{\text{п}} = \frac{\omega_{\text{п}}}{2\pi} = 67.7 \text{ Гц}.$$

### 3.3 Оптимизация контура ЭДС

Электроприводы с обратной связью по ЭДС реализуются по двум структурным схемам, отличающимся способом суммирования входных сигналов, пропорциональных току и падению напряжения в якорной цепи двигателя для измерения ЭДС согласно [6].

Суммирование сигналов (рисунок 12) производится непосредственно на входе датчика ЭДС, на вход которого подается две обратные связи: отрицательная обратная связь по току и по напряжению якорной цепи.

Требования к электроприводу барабанных ножниц допускают выбор регулятора ЭДС пропорционального типа (П) типа. Структурная схема контура ЭДС приведена на рисунке 12.





Коэффициент усиления регулятора ЭДС

$$K_{pЭ} = \frac{J_{\text{э}} \cdot \kappa_{\text{T}}}{\kappa_{\text{э}} \cdot c^2 \cdot T_{\text{оэ}}} = \frac{1150 \cdot 0.002}{0.012 \cdot 25.26^2 \cdot 0.0543} = 5.53,$$

$$T_{\mu\text{э}} = T_{\mu\text{T}} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(2 \cdot T_{\mu\text{T}} + T_{\text{дв}})^2 + T_{\text{дв}}^2} =$$

где

$$= 0.00167 + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(2 \cdot 0.00167 + 0.0142)^2 + 0.0142^2} = 0.01295 \text{ с};$$

$$T_{\text{оэ}} = 2 \cdot (T_{\mu\text{э}} + T_{\text{дв}}) = 2 \cdot (0.01295 + 0.0142) = 0.0543 \text{ с}.$$

Передаточная функция замкнутого контура ЭДС

$$W(p)_{\text{кэ.з}} = \frac{1/\kappa_{\text{э}} \cdot c}{a_{\text{э}} \cdot T_{\mu\text{э}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{э}} \cdot T_{\mu\text{э}} \cdot p + 1} = \frac{3.299}{0.000335 p^2 + 0.0259 p + 1}.$$

Передаточная функция разомкнутого контура ЭДС

$$W(p)_{\text{кэ.р}} = \frac{1}{a_{\text{э}} \cdot T_{\mu\text{э}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{э}} \cdot T_{\mu\text{э}} \cdot p} = \frac{1}{0.000335 p^2 + 0.0259 p}.$$

В программе Matlab были построены ЛАЧХ и ФЧХ замкнутого контура ЭДС:

- перерегулирование  $\sigma = 4.3\%$  ;

- время первого согласования при отработке ступенчатого входного сигнала и время переходного процесса (окончательного вхождения в 5% зону)

$$t_{\text{py1}} = t_{\text{py2}} = 4.1 \cdot T_{\mu\text{э}} = 4.1 \cdot 0.01295 = 0.053 \text{ с};$$

- полоса пропускания по модулю и фазе

$$\omega_{\text{п}}^{(\phi)} = \omega_{\text{п}}^{(M)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu\text{э}}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0.01295} = 54.6 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ или}$$

$$f_{\text{п}}^{(\phi)} = f_{\text{п}}^{(M)} = \frac{\omega_{\text{п}}}{2\pi} = \frac{54.6}{2\pi} = 7.98 \text{ Гц}.$$

- установившееся значение провала или всплеска угловой скорости привода при набросе или сбросе нагрузки  $\Delta M_{\text{с}} = M_{\text{дв.н}} = 60842 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Эта

ошибка определяется статизмом регулятора.

Поскольку  $\frac{T_{\mu\varepsilon}}{2 \cdot T_{\mu\tau}} \rightarrow 1$ , то это значит контур замкнутый по ЭДС, оказывается менее быстродействующий, чем при обратной связи по скорости.

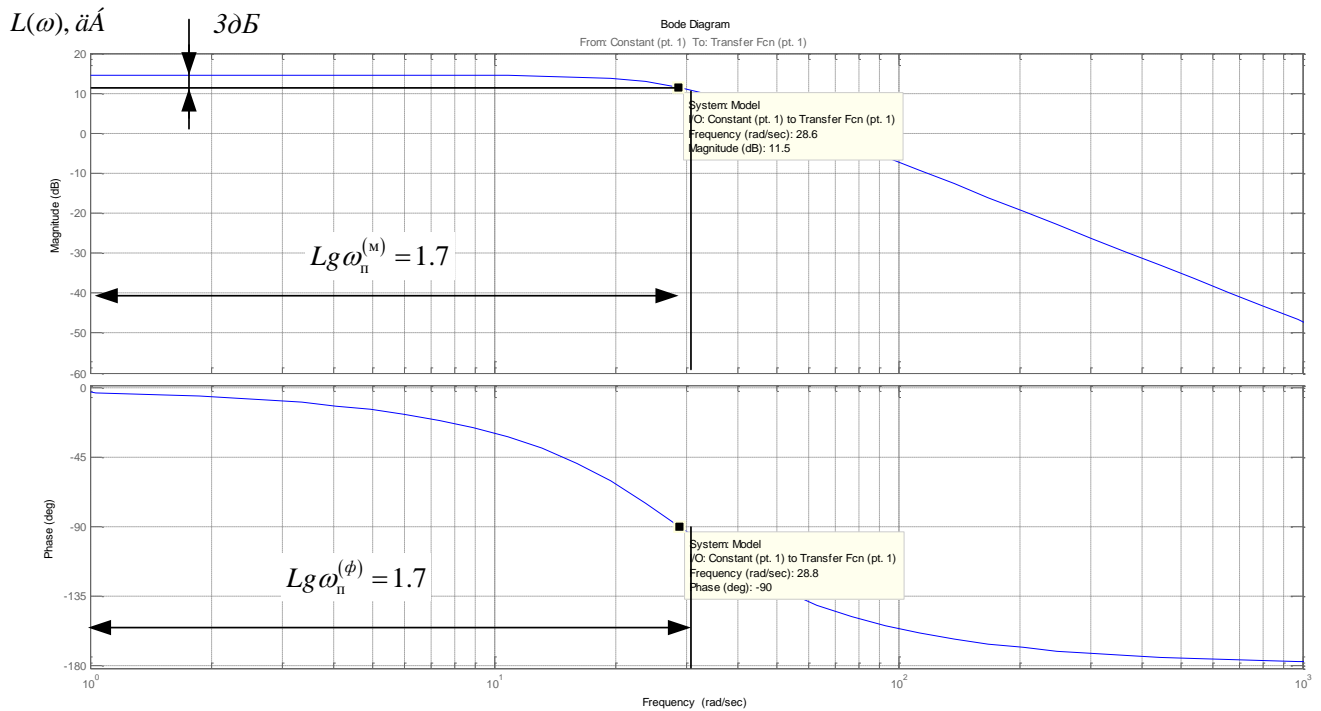


Рисунок 13 – ЛЧХ замкнутого контура ЭДС

### 3.4 Оптимизация контура положения

Контур положения настраивается на модульный оптимум по методике синтеза, изложенной в [13] с коэффициентом оптимизации  $a_{\Pi} = 2$ .

Регулятор положения выбираем пропорционального (П) типа. Структурная схема контура положения приведена на рисунке 14.

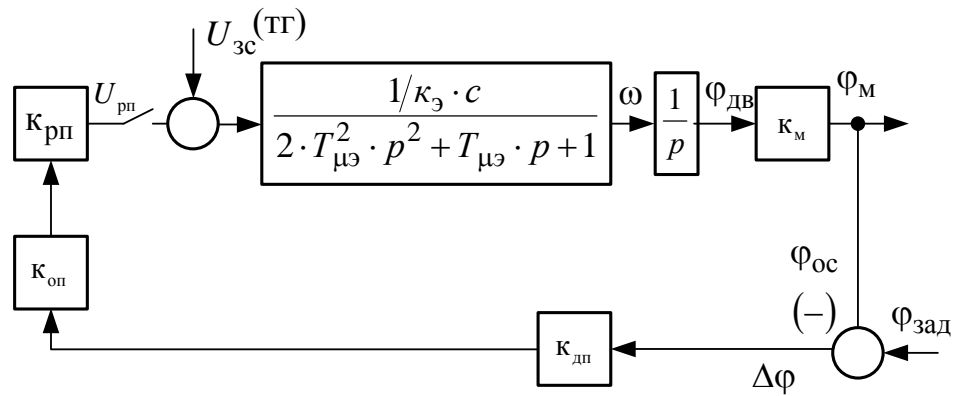


Рисунок 14 - Структурная схема контура положения

### Параметры регулятора положения и цепи обратной связи

Коэффициент передачи датчика положения определяем по характеристике сельсина-приемника (СП) приведенной на рисунке 10, где

- $U_{СП} = \pm 2.1$  В - размах напряжения СП;
- $\varphi_M = \pm 28$  град - изменение угла регулирования СП.

Коэффициент передачи датчика положения

$$\kappa_{\Pi} = \frac{U_{СП}}{\varphi_M} = \frac{2.1}{28} = 0.075 \frac{\text{В}}{\text{град}}.$$

Коэффициент усиления регулятора положения

$$\kappa_{рп} = \frac{c \cdot \kappa_{э}}{\kappa_M \cdot \kappa_{\Pi} \cdot a_{\Pi} \cdot T_{оэ}} = \frac{25.26 \cdot 0.012}{15.43 \cdot 0.075 \cdot 2 \cdot 0.0543} = 5.086.$$

Передаточная функция замкнутого контура положения [13].

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{кп.з}} &= \frac{1/\kappa_{\Pi}}{a_{\Pi} \cdot a_{э}^2 \cdot T_{\muэ}^3 \cdot p^3 + a_{\Pi} \cdot a_{э}^2 \cdot T_{\muэ}^2 \cdot p^2 + a_{\Pi} \cdot a_{э} \cdot T_{\muэ} \cdot p + 1} = \\ &= \frac{13.33}{0.000017p^3 + 0.0013p^2 + 0.0518p + 1}. \end{aligned}$$

Передаточная функция разомкнутого контура положения

$$W(p)_{\text{кп.3}} = \frac{1}{a_{\Pi} \cdot a_{\Sigma}^2 \cdot T_{\mu\Sigma}^3 \cdot p^3 + a_{\Pi} \cdot a_{\Sigma}^2 \cdot T_{\mu\Sigma}^2 \cdot p^2 + a_{\Pi} \cdot a_{\Sigma} \cdot T_{\mu\Sigma} \cdot p} =$$

$$= \frac{13.33}{0.000017p^3 + 0.0013p^2 + 0.0518p}.$$

В программе Matlab были построены ЛАЧХ и ФЧХ замкнутого положения

:

- перерегулирование  $\sigma = 4.3\%$ ;

- время первого согласования при обработке ступенчатого входного сигнала

$$t_{\text{py1}} = 13.6 \cdot T_{\text{оэ}} = 13.6 \cdot 0.0543 = 0.738 \text{ с};$$

- время переходного процесса (окончательного вхождения в 5% зону)

$$t_{\text{py2}} = 20.3 \cdot T_{\text{оэ}} = 20.3 \cdot 0.0543 = 1.1 \text{ с};$$

- полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(\text{M})} = \frac{0.284}{T_{\text{оэ}}} = \frac{1}{0.0543} = 5.23 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

- полоса пропускания по фазе

$$\omega_{\Pi}^{(\text{Ф})} = \frac{0.18}{T_{\text{оэ}}} = \frac{1}{0.0543} = 3.315 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

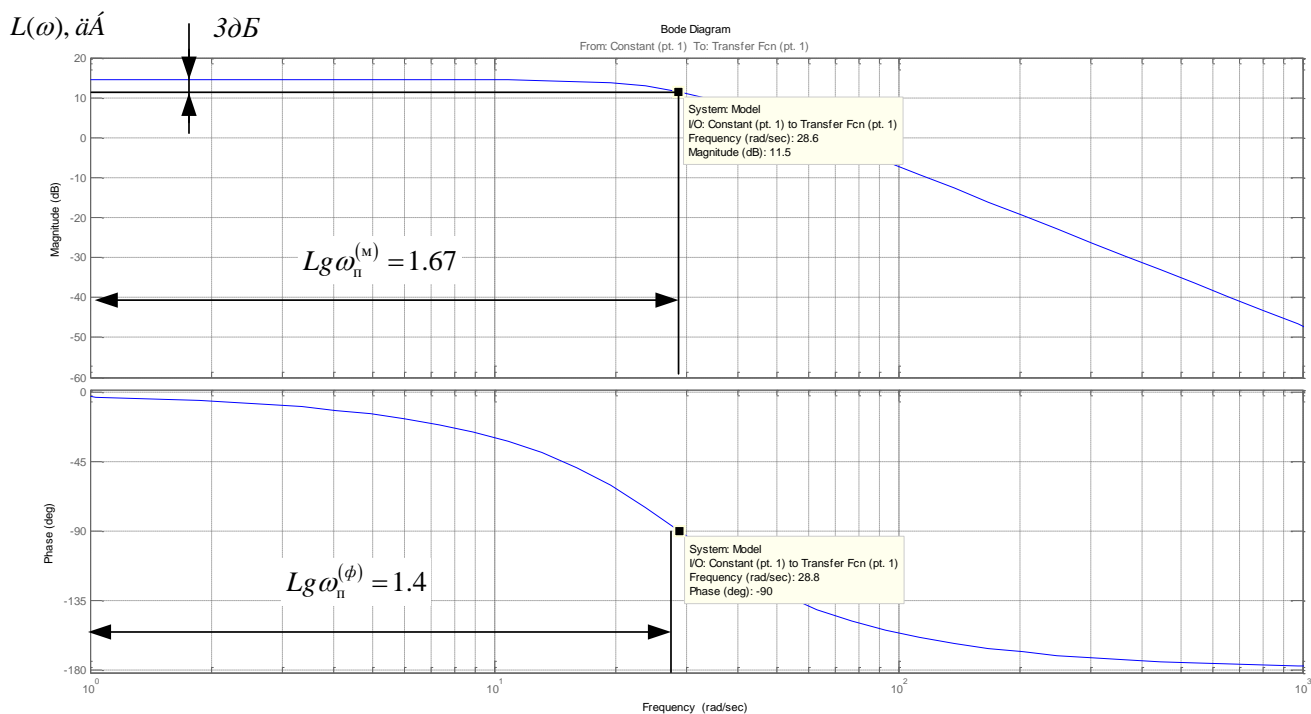


Рисунок 15 – ЛЧХ замкнутого контура положения

### 3.5 Оптимизация контура тока возбуждения

Структурная схема контура возбуждения приведена на рисунке 18 и включает в себя регулятор возбуждения, тиристорный преобразователь цепи возбуждения, обмотку возбуждения двигателя, отрицательную обратную связь по току возбуждения.

Контур содержит три инерционных звена первого порядка (апериодических), причем имеет место следующее соотношение постоянных времени  $T_1 \rightarrow (T_{\text{ТПВ}} + T_2)$ .

Поэтому за малую постоянную времени примем

$T_{\text{ИТТ}} = (T_{\text{РТВ}} + T_2) = 0.0567\text{с}$ , а  $T_1 = 4.87\text{с}$  - будем считать большой постоянной времени контура, которую необходимо компенсировать.

Настройка контура произведена на МО, регулятор тока возбуждения пропорционально-интегрального (ПИ) типа.

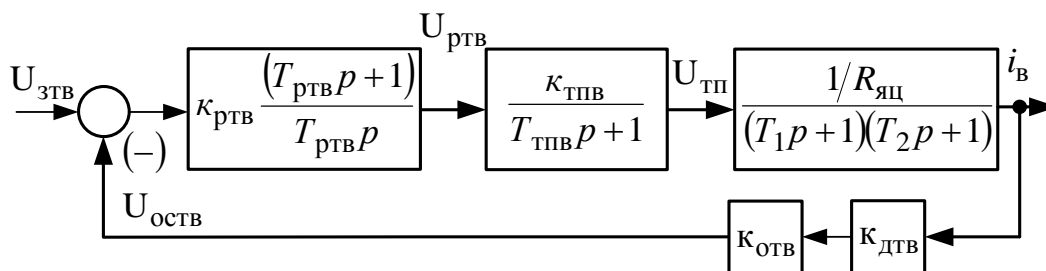


Рисунок 18 - Структурная схема контура возбуждения

### Параметры регулятора тока возбуждения и цепи обратной связи

Коэффициент обратной связи по току возбуждения

$$K_{\text{ТВ}} = \frac{U_{\text{зТВ.макс}}}{I_{\text{В.н}}} = \frac{10}{32} = 0.3125 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Коэффициент датчика тока возбуждения

$$K_{\text{ДТВ}} = \frac{U_{\text{у}}}{U_{\text{ДТ}}} = \frac{10}{100} = 0.1.$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТВ

$$K_{\text{ОТВ}} = \frac{K_{\text{ТВ}}}{K_{\text{ДТВ}}} = \frac{0.3125}{0.1} = 3.125 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Коэффициент регулятора тока возбуждения

$$K_{\text{РТВ}} = \frac{T_1 \cdot R_{\text{ц.в}}}{K_{\text{ТПВ}} \cdot K_{\text{ТВ}} \cdot a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\text{ИТТ}}} = \frac{4.87 \cdot 2.52}{21.74 \cdot 0.3125 \cdot 2 \cdot 0.0567} = 15.92,$$

где  $T_{\text{ИТТ}} = T_{\text{ТПВ}} + T_2 = 0.00167 + 0.0551 = 0.0567\text{с}$ .

Постоянная времени регулятора тока возбуждения

$$T_{\text{РТВ}} = T_1 = 4.87\text{с}.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока возбуждения

$$W(p)_{\text{ТВ.3}} = \frac{1/k_{\text{ТВ}}}{a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\text{МТТ}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\text{МТТ}} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{1/0.3125}{2 \cdot 0.0567^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0.0567 p + 1} = \frac{6.398}{0.00642 p^2 + 0.1134 p + 1}.$$

Передаточная функция разомкнутого контура тока возбуждения

$$W(p)_{\text{ТВ.р}} = \frac{1}{a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\text{МТТ}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\text{МТТ}} \cdot p} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 0.0567^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0.0567 p} = \frac{1}{0.00642 p^2 + 0.1134 p}.$$

Ожидаемые показатели качества работы контура возбуждения:

- перерегулирование  $\sigma = 4.3\%$  ;

- время первого согласования при обработке ступенчатого входного сигнала и время переходного процесса (окончательного вхождения в 5% зону)

$$t_{\text{py1}} = t_{\text{py2}} = 4.1 \cdot T_{\text{МТТ}} = 4.1 \cdot 0.0567 = 0.232 \text{ с};$$

- полоса пропускания по модулю и фазе

$$\omega_{\text{п}}^{(\Phi)} = \omega_{\text{п}}^{(M)} = \frac{0.71}{T_{\text{МТВ}}} = \frac{0.71}{0.0567} = 15.52 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$f_{\text{п}}^{(\Phi)} = f_{\text{п}}^{(M)} = \frac{\omega_{\text{п}}}{2\pi} = \frac{15.52}{2 \cdot 3.14} = 2.47 \text{ Гц}.$$

- ошибка обработки заданного значения тока возбуждения  $\Delta I_{\text{В}} = 0$ .

### 3.6 Статические электромеханические характеристики замкнутой САУ электропривода барабанных ножниц

Уравнение статической электромеханической характеристики замкнутой системы получим, составив систему уравнений описывающих работу электропривода в статике в режиме стабилизации скорости и тока.



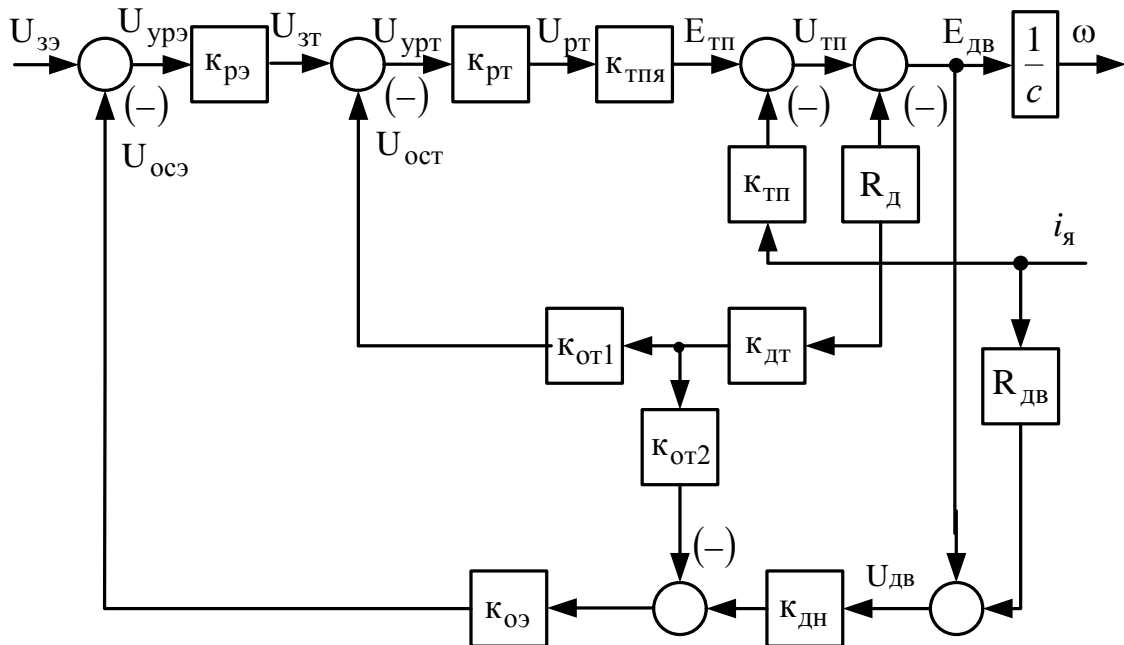


Рисунок 16 - Структурная схема привода барабанных ножниц в статике в режиме стабилизации скорости

Система уравнений, составленная на основе данной структурной схемы.

$$U_{урэ} = U_{зэ} - U_{осэ};$$

$$U_{осэ} = \kappa_{осэ} \cdot E_{дв};$$

$$E_{дв} = U_{дв} - I \cdot \kappa_{дт} \cdot \kappa_{от2};$$

$$U_{дн} = \kappa_{дн} \cdot U_{дв};$$

$$U_{дв} = E - I \cdot R_{дв};$$

$$U_{зт} = \kappa_{рэ} \cdot U_{урэ};$$

$$U_{урт} = U_{зт} - U_{осц};$$

$$U_{осц} = \kappa_{от1} \cdot \kappa_{дт} \cdot I;$$

$$U_{рт} = \kappa_{рт} \cdot U_{урт};$$

$$E_{тп} = \kappa_{тп} \cdot U_{рт};$$

$$U_{тп} = E_{тп} - I \cdot R_{тп};$$

$$U_{дв} = U_{тп};$$

$$U_{дв} = E_{д} + I \cdot R_{дв}, \quad E_{дв} = c \cdot \omega.$$

Решив систему уравнений относительно угловой скорости  $\omega$ , получим уравнение статической электромеханической характеристики замкнутой системы.

$$\omega(I) = U_{\zeta} \cdot \frac{k_{mn} \cdot k_{pm} \cdot k_{pэ}}{c \cdot (1 + k_{mn} \cdot k_{pm} \cdot k_{pэ} \cdot k_{оэ} \cdot k_{дн})} - I \cdot \frac{k_{mn} \cdot k_{pm} \cdot k_{pэ} \cdot k_{оэ} \cdot (k_{дн} \cdot R_{дв} + k_{дт} \cdot k_{от2}) + R_{яц} \cdot k_{mn} \cdot k_{ом1} \cdot k_{дт} \cdot k_{pm}}{c \cdot (1 + k_{mn} \cdot k_{pm} \cdot k_{pэ} \cdot k_{оэ} \cdot k_{дн})}.$$

В этом выражении все константы определены в таблице 11, переменными являются ток  $I$  и напряжение задания  $U_{\zeta}$ . Коэффициент усиления ПИ регулятора тока в статике стремится к бесконечности и принят равными коэффициенту усиления применяемых операционных усилителей и составляет величину порядка 30000. Подставляя численные значения в уравнение получим

$$\omega(I) = 3.2972 \cdot U_{\zeta} - 1.544 \cdot 10^{-3} \cdot I.$$

Таблица 12 - Верхняя электромеханическая характеристика электропривода при напряжении задания 10 В

$I, A$	0	2460
$\omega, \frac{рад}{с}$	32,99	32.97

Таблица 13 - Нижняя электромеханическая характеристика электропривода при напряжении задания 1 В

$I, A$	0	2460
$\omega, \frac{рад}{с}$	3,299	3.297

Электромеханические характеристики приведены на рисунке 20.

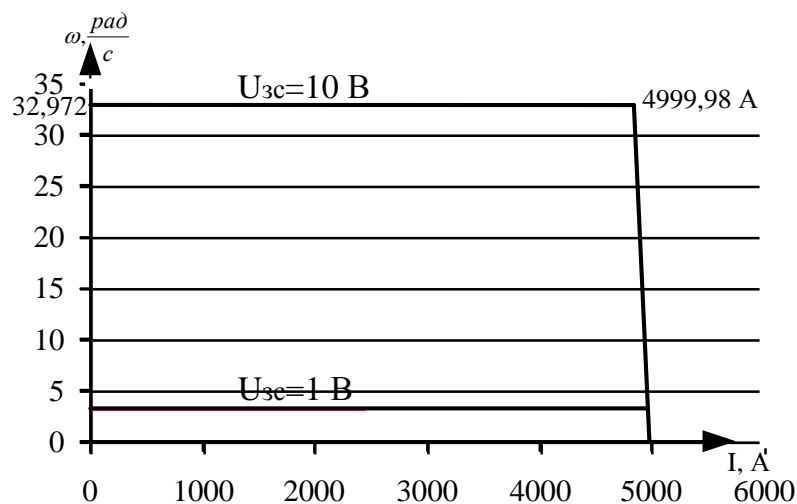


Рисунок 17 - Статические электромеханические характеристики замкнутой системы электропривода барабанных ножниц

Структурная схема привода барабанных ножниц в статике в режиме стабилизации тока приведена на рисунке 21.

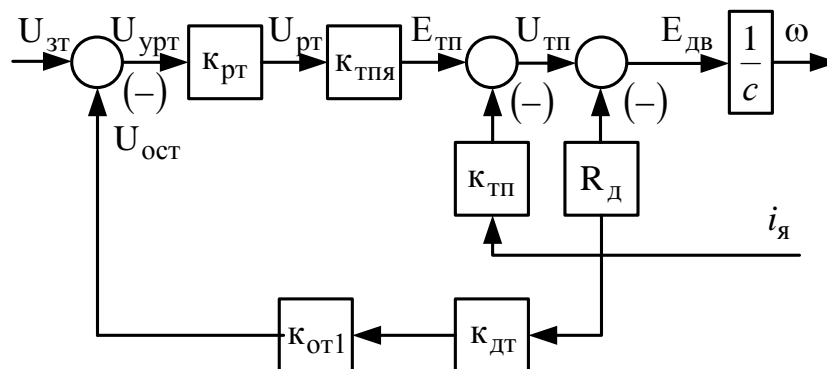


Рисунок 18 - Структурная схема привода барабанных ножниц в статике в режиме стабилизации тока

Система уравнений составленная на основе структурной схемы (рис. 21).

$$U_{урт} = U_{зг} - U_{ост};$$

$$U_{ост} = \kappa_{от1} \cdot \kappa_{дт} \cdot I;$$

$$U_{рТ} = \kappa_{рТ} \cdot U_{урт};$$

$$E_{ТП} = \kappa_{ТП} \cdot U_{рТ};$$

$$U_{ТП} = E_{ТП} - I \cdot R_{ТП};$$

$$U_{д} = U_{тп};$$

$$U_{д} = E_{д} + I \cdot R_{дв}, \quad E_{дв} = c \cdot \omega.$$

Решив систему уравнений относительно тока  $I$ , получим уравнение статической электромеханической характеристики замкнутой системы в режиме стабилизации тока

$$I_{кз} = \left( \frac{\kappa_{тп} \cdot \kappa_{рт} \cdot U_{зт}}{R_{яц} + \kappa_{тп} \cdot \kappa_{рт} \cdot \kappa_{отл} \cdot \kappa_{дт}} \right) = \frac{194.1 \cdot 30000 \cdot 10}{(0.0401 + 194.1 \cdot 30000 \cdot 0.004)} = 4999.98 \text{ А.}$$

Для оценки точности регулирования скорости определим статизм построенных характеристик

$$s = \frac{\omega_0 - \omega_1}{\omega_0} \cdot 100\% = \frac{32.99 - 32.97}{32.99} \cdot 100\% = 0.06\%,$$

где  $\omega_0$  - скорость идеального холостого хода,  $\omega_n$  - номинальная скорость двигателя.

Эти значения точности регулирования скорости удовлетворяют техническим требованиям.

### 3.7 Настройка САУ электропривода на имитационной модели

Для обеспечения работоспособности контура ЭДС с учётом пульсации выпрямленного напряжения преобразователя в цепи обратной связи по ЭДС двигателя установлен сглаживающий фильтр с постоянной времени  $\Phi_{фн} = T_{дв} = 0.0142\text{с}$ .

Для оптимизации переходных процессов в электроприводе при отработке управляющих воздействий экспериментально подобран коэффициент усиления регулятора положения  $\kappa_{рп} = 1.5$ .

Расчётные и экспериментальные (отмеченные\*) параметры звеньев структурной схемы электропривода приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Параметры САУ электропривода барабанных ножниц

$\kappa_{\text{я}}$	$\kappa_{\text{дт\ddot{a}}}$ , В/А	$\kappa_{\text{от1}}$	$\kappa_{\text{рт}}$	$T_{\text{рт}}$ , с	$\kappa_{\text{э}}$	$\kappa_{\text{р\ddot{э}}}$	$\kappa_{\text{дн}}$
194.1	0.004	0.5	0.927	0.03	0,012	5,53	0.01
$\kappa_{\text{от2}}$	$T_{\text{о\ddot{э}}}$ , с	$\kappa_{\text{о\ddot{э}}}$	$\kappa_{\text{рп}}^*$	$\kappa_{\text{оп}}$	$\kappa_{\text{дп}}$	$\kappa_{\text{ртв}}$	$T_{\text{ртв}}$ , с
0.047	0,0543	1,2	5.086	0,075	0.004	15.92	4.87
$T_{\text{ф}}$ , с	$U_{\text{зс}}$ , В	$U_{\text{рт.макс}}$ В	$U_{\text{р\ddot{э}.макс}}$ , В	$U_{\text{рп.макс}}$ , В	$\kappa_{\text{я}}$	$R_{\text{яц}}$ , Ом	$J_{\text{э}}$ , кг·м <sup>2</sup>
0.03	10	+10	+10	+10	194.1	0.0401	1150
$R_{\text{дв}}$ , Ом	$T_{\text{дв}}$ , с	$T_{\text{яц}}$ , с	$T_{\text{тп}}$ , с	$\kappa_{\text{дт\ddot{а}}}$ , В/А	С	$\Phi_{\text{дв}}$ , Вб	$\kappa_{\text{м}}$
0.019	0.0142	0.03	0.00167	0.002	25.26	0.23	15.43
$\kappa_{\text{дн}}$	$\kappa_{\text{дтв}}$	$\kappa_{\text{тпв}}$	$R_{\text{цв}}$ , Ом	$T_1$ , с	$T_2$ , с	$E_{\text{тп\ddot{я}.м}}$ , В	$M_{\text{с}}$ Н·м
0.01	0.1	21.74	2.52	4.87	0.0551	1294	60822

### 3.8 Анализ нелинейной САУ электропривода

#### Структурная схема нелинейной САУ электропривода

На основании структурной схемы линеаризованной системы автоматизированного управления электропривода приведенной на рисунке 19, составлена структурная схема нелинейной САУ электропривода, которая представлена на рисунке 20.

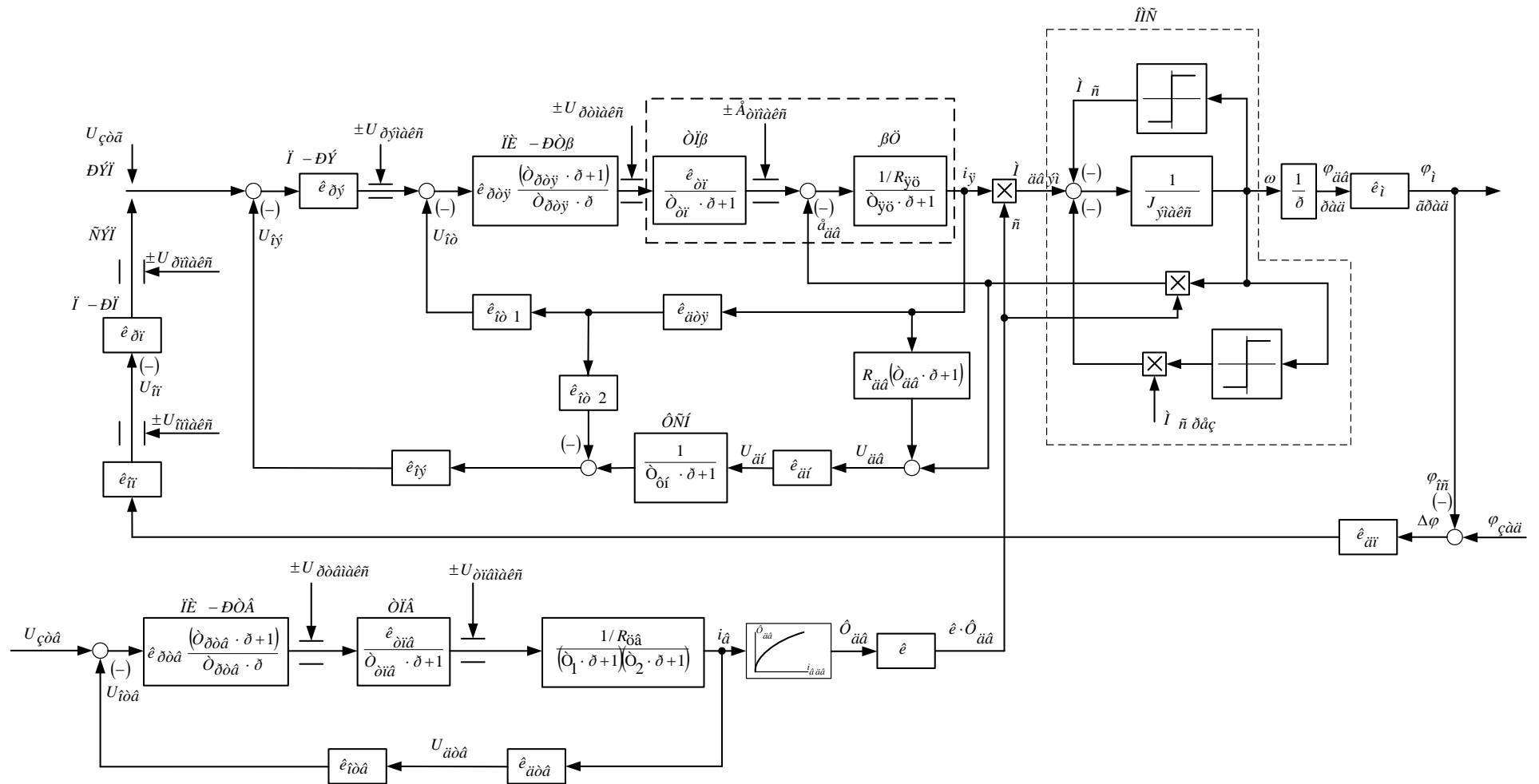


Рисунок 19 – Структурная схема САУ электропривода барабанных ножниц

САУ электропривода ножниц характеризуется следующими нелинейностями элементов:

- насыщение регулятора ЭДС  $U_{рэ.макс} = 10В$ ;
- насыщение регулятора тока  $U_{рт.макс} = 10В$ ;
- насыщение регулятора положения  $U_{рп.макс} = 10В$ ;
- характеристику устройства токоограничения, реализованного путем ограничения выходного напряжения регулятора ЭДС  $U_{рэ} \leq U_{рэ.доп}$ , где  $U_{рэ.доп} = \kappa_T \cdot I_{дв.макс} = 0.002 \cdot 5000 = 10В$
- реактивный характер нагрузки  $M_c(\omega) = M_c \cdot \sin \omega$ , где  $M_c = M_{с.дв} + M_{с.нагр} = 10601.7 \div 62300.4Н \cdot м$ ;
- $M_{с.нагр} = (0.15 \div 1)M_{дв.ном} = 9123.3 \div 60822Н \cdot м$  - момент нагрузки,

По структурной схеме нелинейной САУ СЭП (см. рисунок 19) набирается имитационная модель в среде Matlab, представленная на рисунке 20.

. Программа воспроизводится методом имитационного численного моделирования переходных процессов в аналоговых нелинейных системах регулируемого электропривода при типовых задающих и возмущающих воздействиях. Она позволяет в широких пределах варьировать структуру и значения параметров элементов САУ, выводить результаты расчетов в виде графиков, по которым определяются динамические качества.

Переходные процессы нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный представлены на рисунках 21-25.

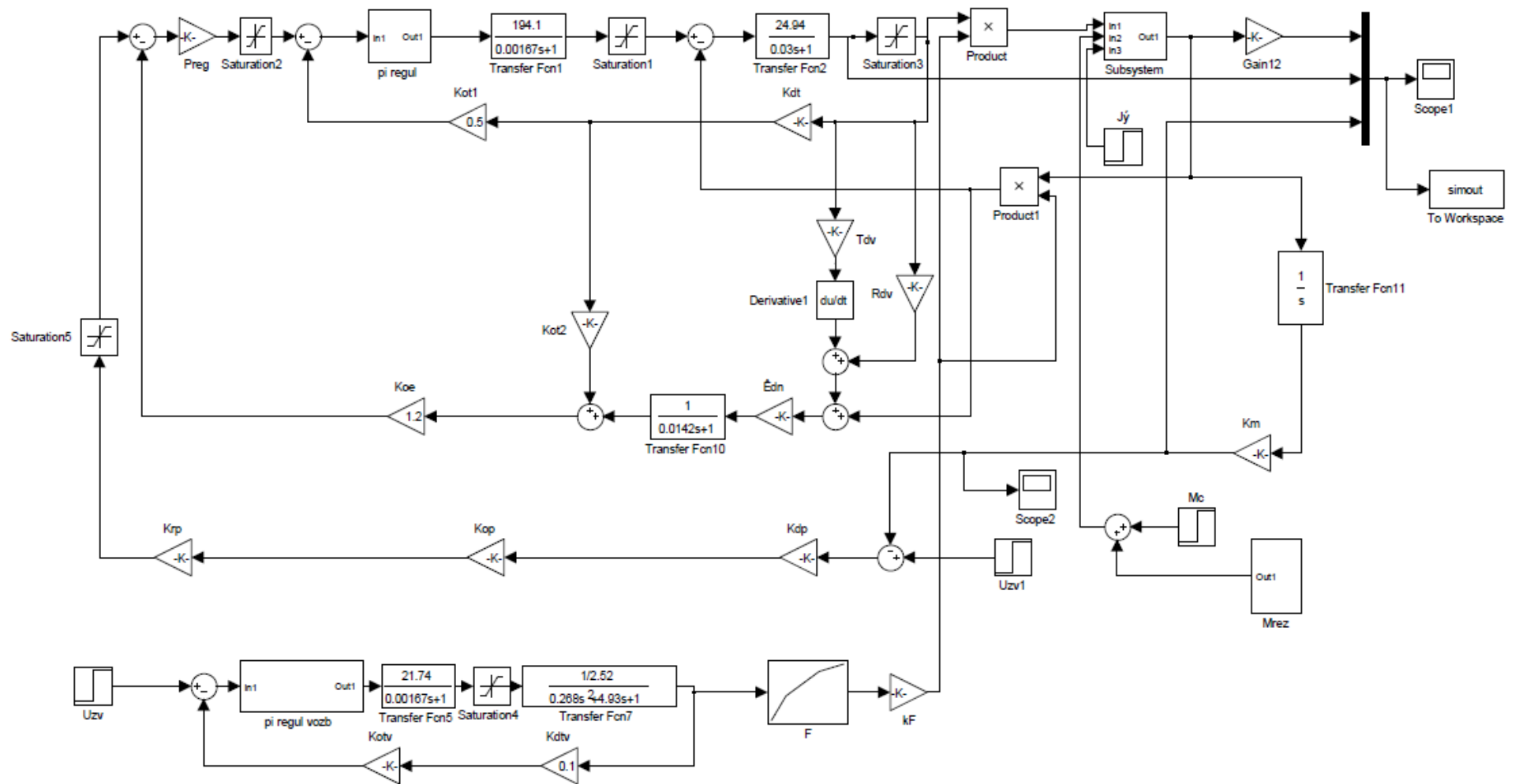


Рисунок 20 – Имитационная модель САУ электропривода барабанных ножниц.



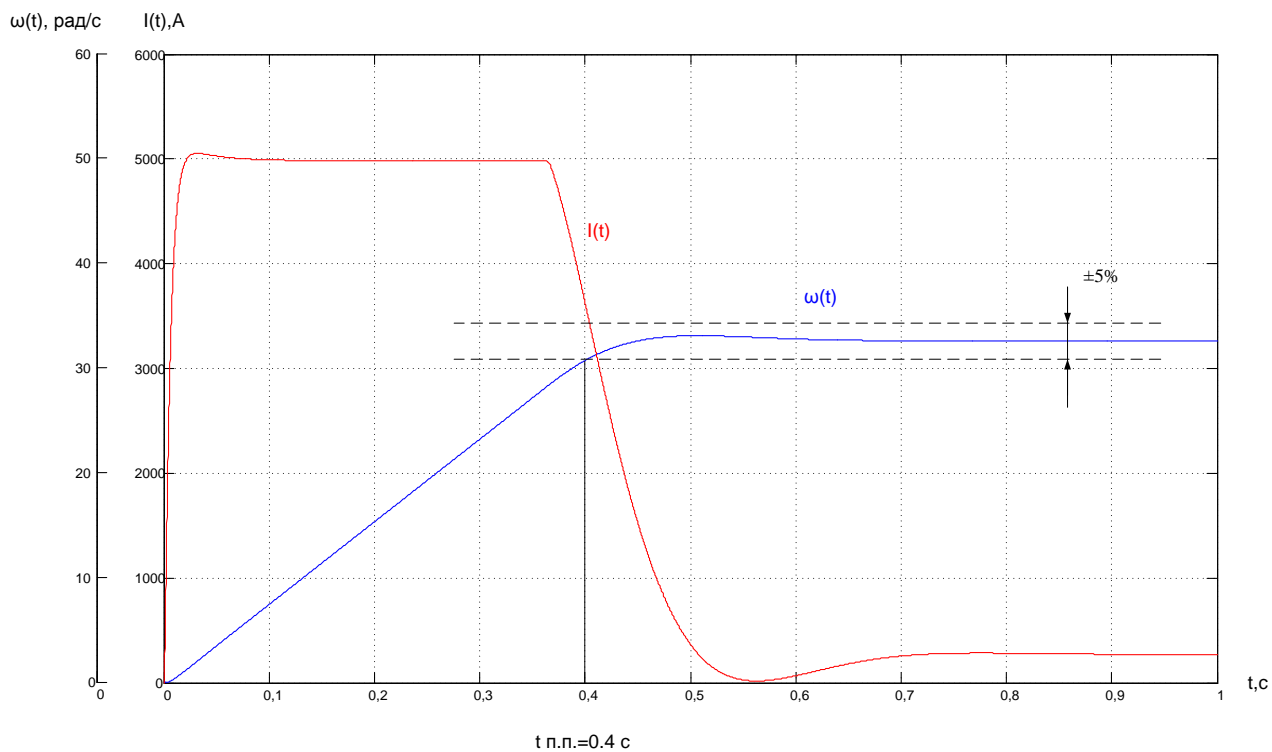


Рисунок 21. – Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 6831 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_{3c} = 10 \text{ В}$ .

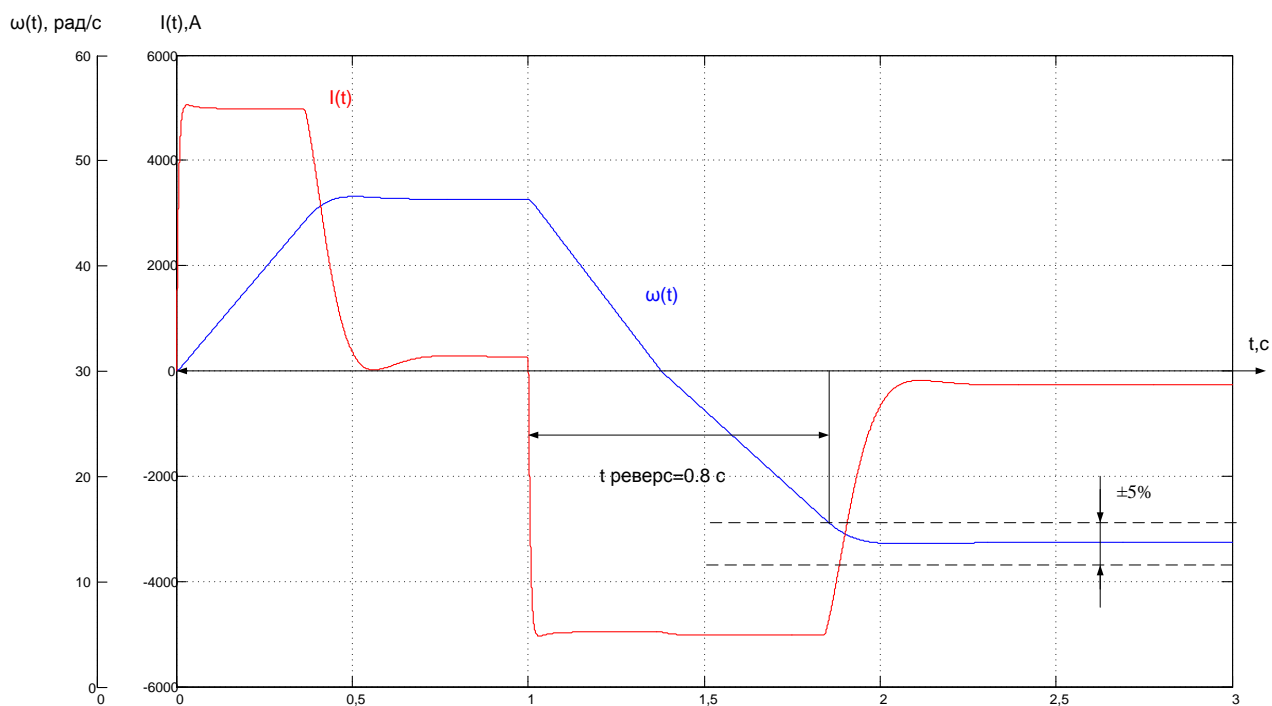


Рисунок 22. – Пуск и реверс нагрузкой холостого хода  $M_c = 6831 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_{3c} = 10 \text{ В}$ .

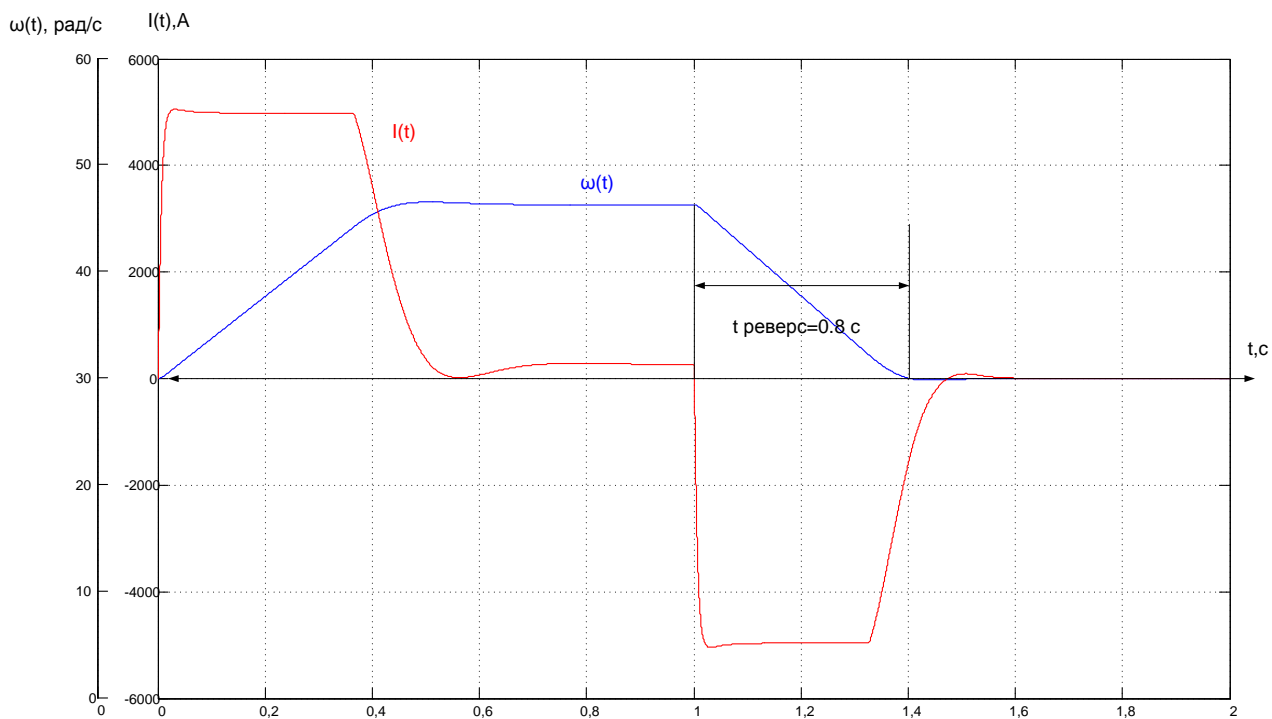


Рисунок 23. – Пуск и торможение нагрузкой холостого хода  $M_c = 6831 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_{3c} = 10 \text{ В}$ .

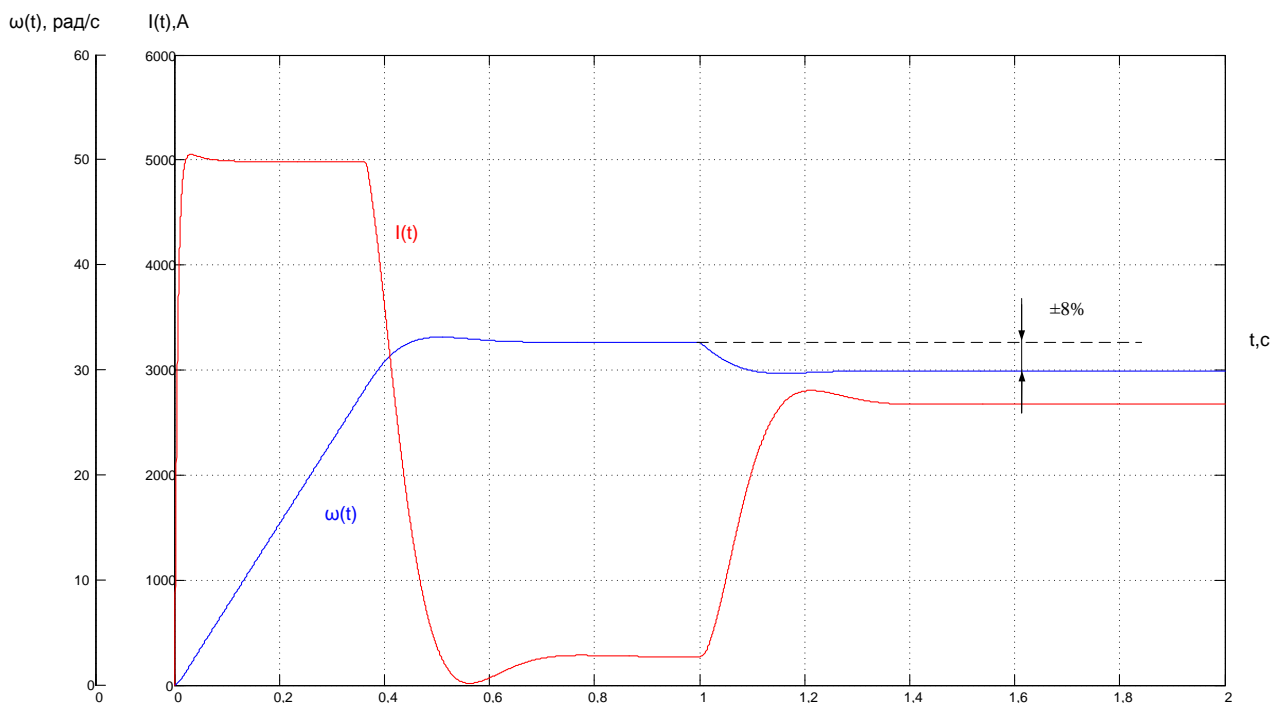


Рисунок 24. – Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 6831 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_{3c} = 10 \text{ В}$  и наброс нагрузки через 1 секунд до момента реза  $M_c = 60822 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

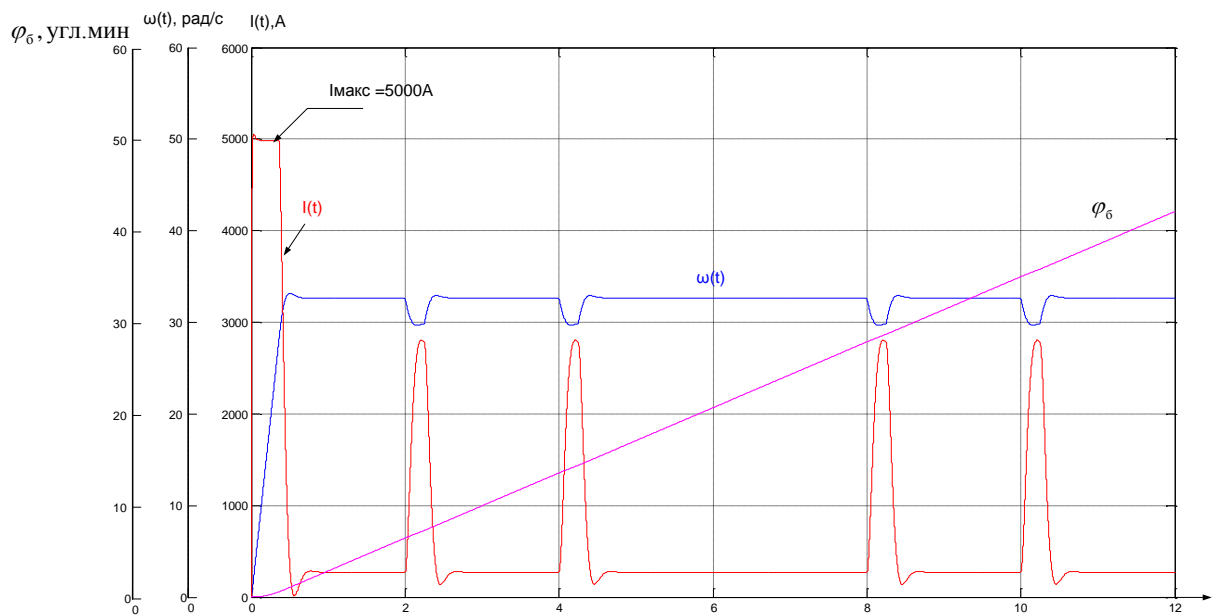


Рисунок 25 - Переходные процессы в следящем электроприводе при пуске, приложении нагрузки  $U_3 = 10\text{В}$ ,  $t_{\sigma} = 2\text{с}$ ,  $I_{\sigma} = 5000\text{А}$ ,  $\omega_{\sigma} = 32.97\text{ рад/с}$ ,  $\varphi_{\sigma} = 4320\text{ угл. мин}$

## 4 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Функциональная схема автоматизированного реверсивного тиристорного электропривода постоянного тока механизма барабанных ножниц «150Т» в приложении А.

В силовую схему электропривода барабанных ножниц входят следующие устройства:

- ВМ - масляный выключатель,
- Тр - масляный трансформатор для питания ТП,
- БЗП - блок защиты от перенапряжения (на ТП)
- ТП - тиристорный преобразователь цепи якоря двигателя,
- ШУ - шкаф управления, где находится СЗС, СИФУ, СЛУ, РТЯ.
- Др - дроссель цепи постоянного тока,
- В1 - ВАТ - выключатель автоматический токоограничивающий,
- П - переключатель питания цепи якоря двигателя,
- Д - электродвигатель.

### **Тиристорный преобразователь цепи якоря**

Функционально разделен на четыре основные части:

- силовую часть,
- систему управления,
- систему защиты и сигнализации,
- систему регулирования.

В тиристорном преобразователе (ТП) применяется трехфазная мостовая схема выпрямления с отдельным управлением тиристорными группами «ВПЕРЕД» и «НАЗАД».

Одно плечо моста состоит из двух параллельно включенных тиристорov Т173-1600-32-УХЛ4.

Для защиты тиристорov от коммутационных перенапряжений, возникающих при включении и отключении МВ, применяется блок защиты от перенапряжений БЗП, состоящий из трехфазного выпрямительного моста, батареи конденсаторов, разрядных

резисторов и защитных предохранителей, защита тиристоров от периодических коммутационных перенапряжений осуществляется R-C цепями, подключенными параллельно тиристорам в каждом плече моста.

На шинах питающего напряжения ТП установлены трансформаторы тока ТТА, ТТВ, ТТС, вторичные цепи которых подключены к входам датчика тока ДТ, формирующего сигнал, пропорциональный действительному значению тока тиристорного преобразователя для использования его в САР и СЗС, и сигнал нулевого тока для системы логического управления группами.

Трансформаторы тока, установленные в плечах тиристорного моста, служат для контроля равенства токов параллельно включенных ветвей тиристоров.

Подключение электродвигателя Д к тиристорному преобразователю осуществляется быстродействующим автоматическим выключателем ВАТ В 1, который защищает тиристорный преобразователь от недопустимых перегрузок и токов короткого замыкания в цепи якоря двигателя.

Подключение ТПВ к силовой сети 380В, 50 Гц осуществляется через трансформатор ТСП-25 и автоматический выключатель QF типа А3712 с электромагнитным расцепителем на 80А, входящим в состав КТЭ.

Токоограничивающий реактор Др1 предназначен для уменьшения пульсаций выпрямленного тока и ограничения скорости нарастания тока.

Система автоматического регулирования барабанных ножниц построена по принципу подчиненного регулирования параметров электродвигателя: тока, скорости, положения на базе типовой САР-04 (однозонная система регулирования скорости привода), расположенной в блоках БРСО в шкафу управления ШУКТЭ.

Сигнал задания номинальной скорости (скорости, при которой происходит раскрой раската по «номиналу»), а также сигналы задания на изменение скорости в режиме без остаточного раскроя подаются на вход промежуточного суммирующего усилителя ПУ1, где суммируются и поступают на вход регулятора ЭДС (РЭ).

Кроме того, на вход РЭ поступает сигнал рассогласования положения ножей относительно головной части раската, т.е. выходной сигнал РП, а также обратная связь по ЭДС, который используется в качестве обратной связи по скорости.

На вход РП поступают сигналы:

1. Сигнал рассогласования системы сельсинной синхронизации (с ФВУ);
2. Сигнал цифро-аналоговой системы согласования скоростей (ЦАСС), выполненной на импульсных датчиках типа ПДФ-3;
3. Сигнал рассогласования системы, выполненной на контроллере фирмы ALLEN-BRADLEY;

Логика подключения этих сигналов на вход РП, выполненная в ячейке ввода команд исключает их совместную работу.

Обратная связь по ЭДС формируется датчиком ЭДС, на вход которого поданы сигналы напряжения на якоре электродвигателя с датчика напряжения (ДН) и тока якоря (ДТ) электродвигателя.

Сигнал задания на ток с выхода РЭ поступает на вход ячейки **устройства выборки люфтов УВЛ**, которая ограничивает выходной сигнал РЭ на уровне 0,76 В, что соответствует заданию на ток  $=1000$  А, с длительностью 160 мс при каждом переходном процессе, что позволяет выполнить «мягкую» выборку люфтов в механизме с меньшим моментом, без ударов, разрушающих механизм. По окончании времени выборки люфтов токоограничение увеличивается до рабочего (4300 А).

Напряжение, поступающее на вход регулятора тока с трансформаторов тока, установленных на входе ТП и соединенных по схеме «звезда», в ячейке датчика тока (ДТ) выпрямляется и на её выходе формируется сигнал, пропорциональный току ТП. Далее этот сигнал поступает в ячейку регулятора тока РТ, и ячейку согласования на входе СИФУ и в узел защиты от превышения тока.

**Датчик нулевого тока (ДНТ)** предназначен для контроля токопроводящего состояния тиристоров. Порог чувствительности ДНТ составляет несколько ампер.

**Система импульсно-фазового управления (СИФУ)** предназначена для формирования импульсов управления тиристорами ТП, фазового сдвига этих импульсов, прерывания и восстановления их формирования по сигналу разрешения.

Ячейка содержит три идентичных канала формирования и узел разрешения, воспринимающий сигналы запрета и разрешения. Все три канала ячейки СИФУ

формируют шестифазную последовательность сдвоенных импульсов управления ИУ, используемую для управления ТП по трехфазной мостовой схеме.

**Блок выходного устройства (БВУ)** предназначен для гальванического разделения цепей управления СИФУ и силовых цепей ТП и для формирования импульса управления силовым тиристором.

**Ячейка ЛПУ** выполняет функцию логического переключающего устройства, обеспечивающего безаварийное переключение катодной и анодной групп вентиляей.

Защита электродвигателей от перенапряжения осуществляется реле высокого напряжения РВН, установленные в ШР.

Защита от включения автомата В1 при наличии напряжения на преобразователе осуществляется реле ЭДС преобразователя РЭ.

Защита от превышения допустимой скорости двигателя осуществляется центробежным выключателем ВЦ.

## 5 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Принципиальная схема автоматизированного реверсивного тиристорного электропривода барабанных ножниц «150т» представлена в приложении А.

САР представляет собой комплексное устройство на типовых блоках УБСР-АИ (унифицированная блочная система регуляторов - аналоговая ветвь). Унифицированный сигнал в системе УБСР-АИ составляет 10В, напряжение питания постоянным током  $\pm 24В, \pm 15В$  источники питания общие.

Конструктивно все составные части САР, кроме регулятора тока РТ, размещённого в системе управления (СУ), расположены в кассете РН. Кассета ВУ используется в качестве блока гальванических развязок и в ней размещены все необходимые для САР датчики и потенциальные разделители.

В САР приходят следующие аналоговые сигналы:

1. ДН - обратная связь по напряжению электропривода - с делителя ТП - ячейка Я14 (РГ8);

2. ТГ - обратная по скорости - с делителя ТГ - ячейка Я15 (РГ-4АИ);

3. АЗ - сигнал аналогового задания на номинальную скорость ножниц - с потенциометров задания 8, 10 клетей или тянущие-следящих роликов (выбор происходит с помощью тумблера на ПУ-10) - ячейка Я16 (РГ-4АИ);

4. Ф1 - сигнал задания на изменение номинальной скорости от управляющего контроллера раскроя FESTO-1 - ячейка Я17 (РГ-4АИ);

5. Ф2 - сигнал задания на изменение номинальной скорости от резервного контроллера раскроя - ячейка Я18 (РГ-4АИ);

6. КР - сигнал задания на скорость ножниц в режиме раскроя при управлении ножницами управляющим контроллером ПК ALLEN-BRADLEY - ячейка Я19 (РГ-4АИ);

7. КС - сигнал рассогласования ножей и головной части раската (синхронизации) при управлении ножницами контроллером ПК ALLEN-BRADLEY - ячейка Я20 (РГ-4АИ);



8.ЦАСС - сигнал рассогласования положения ножей и головной части раската(синхронизации) при управлении ножницами от ЦАСС, расположенной в помещении УВМ;

9.ФВУ - сигнал рассогласования положения ножей и головной части раската при работе от схемы сельсинной синхронизации - ячейка ФВУ, расположенная в кассете РН. ФВУ изготовлена на базе ФВУ-5 производства УЭТМ.

Выбор режима работы - ручной или автоматический, направление вращения («Вперёд» - «Назад»), а также выбор источника задания скорости (8 или 10 клеть или тянущие-следящие ролики) осуществляется на посту управления (ПУ-10) ключами и переключателями (тумблерами) в соответствии с принципиальной схемой ФЮРА.454129.005.Э2.

**Система управления тиристорным преобразователем (СУ)** конструктивно выполнена в виде блока управления БУШ, расположенного в шкафу управления ШУ, состоящего из типовых ячеек С1, СИФУ, УЗ, ДТ, РТ, ЛПУ, К2,ЗС1-2шт.

**Ячейка согласования С1** предназначена для согласования сигнала с регулятора тока РТ с входом ячейки СИФУ. Ячейка С1 обеспечивает установку значений начального ( $\alpha_{нач}$  - R37), минимального ( $\alpha_{мин}$  - R36) и максимального ( $\alpha_{макс}$  - R35) углов управления. Кроме того, в ней на базе операционного усилителя (ОУ) DA5, работающем в режиме компаратора, формируется сигнал о превышении током якоря допустимой величины ( $I >$ ), который через R12 обеспечивает сдвиг импульсов в инверторную зону и их съём через VI. Защита от превышения тока осуществляется следующим образом:

Сигнал о величине выпрямленного тока «I» поступает на вход ОУ DA5 с выхода датчика тока ДТ2 и в случае, если он превышает уставку срабатывания, установленную резистором R38, происходит изменение полярности выходного сигнала ОУ DA5 с положительной на отрицательную. Сигнал с выхода DA5 поступает на вход сумматора DA1 и обеспечивает изменение сигнала на выходе ячейки С1 до уровня, соответствующего  $\alpha_{макс}$ . Одновременно с этим открывается транзистор VT2 и через оптопару DA6 сигнал аварии о превышении тока проходит в ячейку ЗС1 ЗС3.

На ОУ DA1 собран сумматор входных сигналов. Входной сигнал « $U_{вх}$ » суммируется с сигналом « $U_{нач}$ »- R37 и ограничивается « $U_{мин}$ »- R36 и « $U_{макс}$ »-R35. ОУ DA2 служит для суммирования сигнала с выхода DA1 и сигнала смещения, а также согласования полярности сигнала с РТ6 с входом ячейки КФУ. Выходной сигнал DA2 является входным для ячейки С1 - « $U_y$ ». Сигналом смещения, который поступает на вход DA2 от источника «+15В», задается начальный уровень напряжения  $U_y$ , равный - 5В.

На ОУ DA3 и DA4, работающих в режиме компараторов, собраны ограничители напряжения  $U_y$ , а следовательно и углов управления  $\alpha_{мин}$ ,  $\alpha_{макс}$ .

**Ячейка каналов фазового управления СИФУ** предназначена для формирования импульсов управления тиристорами ТП, фазового сдвига этих импульсов, прерывания и восстановления их формирования по сигналу разрешения.

Ячейка содержит три идентичных канала формирования ИУ и узел разрешения, воспринимающий сигналы запрета и разрешения. Каждый канал содержит: входной фильтр синхронизирующего напряжения на элементах R4, C4, R1, C5; формирователь напряжения синхронизации на ОУ D6, резисторах R8, R21, R5, диодах VD4, VD5; микросборку D3 с элементами внешней коррекции. Резисторы R2, R3 и конденсатор C1 определяют наклон опорного пилообразного напряжения микросборки. Конденсатор C2 определяет длительность ИУ микросборки.

Все три канала ячейки СИФУ формируют шестифазную последовательность двояных импульсов управления ИУ, используемую для управления ТП по трехфазной мостовой схеме.

Узел разрешения ИУ состоит из оптрона D7 и ограничивающего резистора R 20.

Формирование ИУ разрешено при нулевом значении напряжения на входе «Ucp» ячейки (логическая единица на к.т.13) и запрещено при уровне, соответствующем логической единице на входе « $U_{cp}$ » (логический ноль на к.т.13). Подробное описание работы ячейки СИФУ приведено в техническом отчете по наладке и инструкции по эксплуатации ИБПД.654310.001-01 ТО.

**Ячейка усилителей УЗ** предназначена для усиления импульсов управления, сформированных ячейкой СИФУ. Ячейка содержит шесть идентичных каналов усиления, которые работают на БВУ.

**Блок выходного устройства БВУ** предназначен для гальванического разделения цепей управления СИФУ и силовых цепей ТП и для формирования импульса управления силовым тиристором.

**Ячейка ДТ** предназначена для формирования сигнала о величине выпрямленного тока ТП. Ячейка ДТ содержит: трехфазный мостовой выпрямитель VD1-VD6, нагрузочные резисторы R1-R8, датчик нулевого тока на ОУ DA1. Напряжение, поступающее на вход ячейки с трансформаторов тока, установленных на входе ТП и соединенных по схеме «звезда», в ячейке ДТ2 выпрямляется и на её выходе формируется сигнал, пропорциональный току ТП. Далее этот сигнал поступает в ячейку регулятора тока РТ, и ячейку С1 в узел защиты от превышения тока. Датчик нулевого тока ДНТ предназначен для контроля токопроводящего состояния тиристоров. Порог чувствительности ДНТ составляет несколько ампер. При выполнении наладочных работ добавочные сопротивления R10, R11 были зашунтированы для уменьшения порога чувствительности датчика тока.

**Ячейка РТ** включает в себя следующие функциональные узлы:

- регулятор тока на ОУ D6,
- реверсор сигнала управления на ОУ D8,
- узел формирования сигнала на переключение групп на ОУ D9 (УБЛ),
- реверсор сигнала датчика тока на ОУ D11 (Iя),
- узел ограничения сигнала задания на ОУ D4 и D10,
- инверторы на ОУ D5 и D7,
- электронные ключи на микросхемах D1-D3.

Ключом D3 обеспечивается расшунтирование РТ по сигналу расшунтировки «Ш» при включении ВАТа, а также отключение сигнала задания на ток на время аппаратной паузы.

Ключом D2 осуществляется согласование работы СИФУ и ячейки ЛПУ (реверс сигнала обратной связи по току и выходного сигнала РТ).

При выполнении наладочных работ узел ограничения сигнала задания на ток на D4, D10 а также узел адаптации (изменения параметров РТ в режиме прерывистых токов) на D1 были отключены.

Сигнал задания на ток формируется на выходе регулятора ЭДС РЭ, выполненного на усилителях У1(Я8), расположенной в кассете РН (блок БРСО)

**Ячейка ЛПУ** выполняет функцию логического переключающего устройства, обеспечивающего безаварийное переключение катодной и анодной групп и включает в себя:

- интегратор с самоподхватом на ОУ DA1 и транзисторах VT1 VT2,
- выпрямитель на ОУ DA2, транзисторах VT1 и VT2,
- компаратор на ОУ DA3, - нуль-орган на ОУ DA4,
- Согласующие транзисторы VT3, VT4, VT5.

На ячейку ЛПУ приходит два входных сигнала. Первый - с выхода ячейки РТ (УБЛ) является запросом на переключение групп. Второй - с выхода датчика нулевого тока ячейки ДТ и является разрешением на переключение групп. Переключение возможно только тогда, когда выпрямленный ток равен нулю.

При смене полярности сигнала задания на ток на вход «УБЛ» ячейки ЛПУ приходит сигнал запроса на переключение групп, однако если фактический ток ТП не равен нулю, с ДНТ ячейки ДТ приходит отрицательный сигнал и ЛПУ сохраняет прежнее состояние.

Как только выпрямленный ток станет равным нулю, на вход ЛПУ с ДНТ приходит положительный сигнал, разрешающий переключение групп. Интегратор DA1 переключается с режима самоподхвата в режим интегратора и напряжение на его выходе изменяется по линейному закону с 9В одной полярности до 9В другой полярности за время равное 100 мкс.

В процессе изменения напряжения на выходе интегратора, в ЛПУ происходят следующие переключения:

- происходит переключение компаратора DA3 на время, пока напряжение на выходе DA1 находится в диапазоне -8В...+8В. При переключении DA3 открывается транзистор VT5 и происходит съём импульсов ТП.

- при переходе через ноль выходного напряжения DA1 происходит переключение нуля органа DA4. Сигнал с выхода DA4 поступает в ячейку K2, в которой происходит переключение выходных усилителей с выходящей из работы вентильной группы на входящую, а также в ячейку РТ на реверсор сигнала тока и реверсор сигнала управления.

- после того, как напряжение на выходе DA1 пересечет уровень 8В новой полярности, происходит возврат компаратора DA3 в исходное состояние, ИУ восстанавливаются, но уже на другой вентильной группе. Таким образом, при необходимости реверса тока якоря, при условии что ток якоря снизился до нуля, происходит отсчет «аппаратной паузы», в начале которой снимаются импульсы с ТП, затем происходят все необходимые переключения, и по истечении которой восстанавливаются ИУ ТП, но уже на другой вентильной группе.

Если за период от начала «аппаратной паузы» до её середины (т.е. до момента, когда напряжение на выходе DA1 станет равным нулю), ДНТ выдаст сигнал запрета на переключение групп из-за появления тока ТП, интегратор DA1 возвращается в исходное состояние и ИУ восстанавливаются на выходящей из работы группе тиристоров.

**Ячейка K2** - ячейка силовых ключей, обеспечивающая подачу импульсного управления (ИУ) на одну вентильную группу ТП и запрет подачи импульсов на другую. Управляющим сигналом для ячейки K2 является сигнал задания на переключение групп с ЛПУ. Ячейка содержит цепи взаимного блокирования силовых ключей на VT5 и VT6, которые предотвращают появление ИУ одновременно на обеих группах тиристоров. На транзисторе VT8, резисторе R21, конденсаторе С и реле К собрана цепь задержки, исключающая подачу ИУ на тиристоры до момента, пока не установится режим работы СУ при включении питания.

Для ограничения  $dI/dt$  при коммутации параллельно включенных ветвей тиристоров применяются индуктивные делители тока Д1... Д6.

Защиту тиристоров от перегрева осуществляет терморезистор Rк, расположенный на радиаторе в силовом шкафу ШС с установкой срабатывания 90°С. Сигнал о перегреве тиристоров формируется в ПЗ БЗС5.

Защита тиристорного преобразователя от перенапряжения осуществляется реле К1 (РВН), установленном на выходе силового моста. Контакт К1 заведен в систему защит и сигнализации (СЗС). Реле К2 осуществляет контроль изоляции силовых цепей преобразователя. Контакт К2 заведен в СЗС.

## **6 РАСЧЕТ И ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОЖНИЦ**

Электродвигатель в процессе эксплуатации может попасть в различные аварийные ситуации, такие как: обрыв поля, короткие замыкания, перенапряжение и т.д. Последствия этих ситуаций - выход из строя электродвигателя, нарушение технологического процесса, подвергание опасности жизнь обслуживающего персонала.

Чтобы исключить возможность аварии электродвигателя необходимо отключить его от сети при аварийных режимах.

Важнейшей задачей в схемах является выбор уставок защит, а так же проверка правильности выбора реле защит, установленных в схеме. Для электродвигателя постоянного тока максимально токовая защита в силовой цепи, т.е. защита от перегрузок, минимально токовая защита в цепи возбуждения и защита от перенапряжения на двигателе.

Аппаратура релейно-контакторного управления размещена в шкафу 42.6 ШР. Функции релейно-контакторной схемы заключаются в контроле за правильностью всех переключений в силовой части схемы и системы автоматического регулирования САР, контроль включения блокировок и защит.

В схеме существуют цепи «Поиск нарушений цепи блокировок» (РБ1) и «Поиск нарушений цепи готовности» (РГ).

Система управления тиристорным преобразователем возбуждения (111В) включает в себя контур регулирования тока возбуждения. Сигнал задания на ток возбуждения поступает на вход регулятора тока возбуждения (РТВ) от потенциометра

R, установленного на фальшпанели блока БУПШВ. Сигнал обратной связи по току возбуждения  $I_g$  поступает на вход РТВ от датчика тока возбуждения ДТ2.

### **Расчет и выбор автоматического выключателя**

Автоматический выключатель предназначен для защиты схемы от коротких замыканий, перегрузок и недопустимых снижений напряжения оперативных включений и отключений электрических цепей.

Схемой предусмотрено дистанционное и местное управление ВАТ. Дистанционное управление В1 осуществляется с пульта ПУ10 ключом КУА «Управление автоматом», местное управление - со шкафа управления ВАТ ключом КУ.

Рассчитаем автоматический выключатель для защиты двигателя. Выбираем по литературе [8] уставку максимального тока  $I_{уст}$ , А:

$$I_{уст} = 2.2 \cdot I_{ДВ.Н} = 2.2 \cdot 2460 \text{ А.}$$

Ток срабатывания максимально токовой защиты автоматического выключателя выбирается таким, чтобы защита не приходила в действие при прохождении пускового тока по защищаемому проводнику.

Выбор автоматического выключателя обуславливается номинальным током и номинальным напряжением силовой цепи. Исходя из этого выбираем автоматический выключатель типа ВАТ-42-4000/10ЛАУ4.

ВАТ-42 представляет собой однополюсный автоматический выключатель токоограничивающего типа.

Параметры автоматического выключателя внесены в таблицу 15.

Таблица 15 Данные автоматического выключателя

Номинальные данные:	Технические данные:
Напряжение, В - 1050	Ток уставки, А - 4000 - 8000
Ток, - 4000	Время отключения в безиндукционной цепи, сек - 0,015

Цепи управления:

Напряжение, В - 220; Ток включения, А – 40;

Ток удержания, А - 1,5.

### **Описание схемы управления, защиты и сигнализации барабанных ножниц**

Механизм приводится в движение электропривода организованно по системе ТП-Д. Для обеспечения надежности работы предназначено резервирование тиристорных преобразователей. Подача силового питания на первичную обмотку трансформатора (силового согласующего) осуществляется включением масляного выключателя на РУ 10 кВт № 7. Цепь постоянного тока коммутируется автоматическим выключателем ВАТ.

Рубильник П предназначен для выбора либо рабочего либо резервного тиристорного преобразователя. Для контроля основных параметров в цепи постоянного тока применяют электроизмерительные приборы (PV, PA). Для подачи питания в цепи управления в релейной части схемы применяется автомат SF1. Для контроля наличия напряжения в цепях управления предназначена лампа HL1, включенная через токоограничивающее сопротивление R5. Обмотка возбуждения двигателя питается от отдельного КТЭ 100. Реле РП2 предназначено для контроля наличия тока в цепи обмотки возбуждения.

В данном электроприводе имеются два вида сигнализации:

- внешняя, выходное устройство которой, в цепи централизованной сигнализации;
- внутренняя, устанавливаемая в КТЭ и обеспечивающая выделение первичного аварийного сигнала.



В схеме КТЭ предусмотрены следующие виды защит:

### **Предупредительная сигнализация**

- недопустимое снижение уровня изоляции - срабатывает при включении «земляного» реле К2, установленного в ШС;
- неполнофазный режим тиристорного преобразователя - при отсутствии тока через один из параллельно включенных тиристоров, кроме того данный режим контролируется визуально с помощью светодиодов ячеек СИ1 блока БЗС5;
- срабатывание I ступени газовой защиты силового трансформатора;
- срабатывание I ступени тепловой защиты силового трансформатора.

Эти защиты выполнены на ячейке ЗЗС1 блока БЗС5, которая принимает и запоминает аварийные сигналы. При отсутствии предупредительного сигнала реле предупредительной сигнализации К1 включается и дает разрешение на включение ВАТа через реле повреждения тиристорного преобразователя РПП, контакт которого используется в цепи включения реле готовности привода к работе РГ (ШР).

### **Аварийная сигнализация**

- превышение допустимой величины тока якоря - при достижении током уставки  $I_{я, макс}$ , установленной в ячейке С1 БУП1В;
- снижение тока возбуждения ниже допустимого - при снижении тока возбуждения ниже уставки РНТД при включенном ВАТе (последовательно включенные контакты РП2 и Р3, сх. Р186РДЗ.ЭЗ.4;
- перегорание предохранителей в силовом шкафу ШС - при замыкании б/к силовых предохранителей при перегорании в ШС;
- превышение допустимого напряжения на якоре электродвигателя при срабатывании реле высокого напряжения ГО К1, расположенного в ШС;
- отключение ВАТ от РДШ - при отключении реле К5 ШУ, катушка которого включена параллельно контакту РДШ;
- неисправность БЗП - при перегорании предохранителей в БЗП;
- исчезновение напряжения с.н. - при размыкании контакта РКНсн 3х380В, 50Гц., контролирующего наличие напряжения с.н.,
- срабатывание II ступени тепловой защиты МВ;

- перегрев силового шкафа - при появлении сигнала о перегреве с ячейки ПЗ БЗС5;
- аварийное отключение ВАТ - при установке ключа управления ВАТом SA1 в положение «3» - запрет;
- срабатывание II ступени газовой силового трансформатора;
- аварийное отключение МВ - при нажатии на кнопку SB3-аварийное отключение

Две последние защиты воздействуют на реле аварийного отключения МВ К4 ШУ, которое разрывает свой контакт в цепи РОВ (ПЗ ШУ), которое в свою очередь отключает МВ.

Аварийный сигнал приводит к отключению реле готовности РГ1, РГ2 ШУ и как следствие, отключению ВАТ, сдвигу ИУ ТП в инверторную зону и их снятие.

При отсутствии каких-либо аварийных сигналов включаются реле РГ1, РГ2 которые замыкают свои контакты в цепи включения ВАТ и дают разрешение на включение ВАТ через реле аварии преобразователя промежуточное РАП, контакты которого используются в цепи реле РГ ШР. При этом на двери ШУ КТЭ загорается лампа HL4 - «Готовность».

Включение ВАТа и МВ индицируется лампами HL8 «ВАТ включен» и HL1 «МВ включен».

Если привод отключен по сигналу аварии, то на двери ШУ светятся лампы HL5 «Авария» и HL7 «ВАТ отключен».

Перед повторным включением КТЭ в работу после его отключения и устранения аварии производится деблокировка защит с помощью реле РДЗ нажатием кнопки SB1 «Деблокировка защит». Кнопкой SB2 «Проверка индикации» производится контроль исправности цепей индикации СЗС. Также имеется сигнализация срабатывания электронных защит, которая реализована в виде ячеек кассеты СЗС (светодиодная сборка).

Система защиты и сигнализации 111В предназначена для приема и запоминания аварийных сигналов, индикации состояния готовности и аварии КТЭ и имеет следующие виды защит:

**Отключение силового автоматического выключателя QF.** При отключении силового автомата теряет питание катушка реле аварийной сигнализации РАС. На двери шкафа загорается сигнальная лампа HL5 «Авария», на лицевой панели ячейки 13С1 высвечивается вид неисправности.

**Превышение допустимого тока возбуждения.**

Этот сигнал формируется в ячейке С1 при достижении тока возбуждения уставки «Iв max» на резисторе R38. При этом срабатывает компаратор на DA5 С1, происходит сдвиг импульсов в инверторную зону с последующим их съемом (размыкание цепи +24В).

**Сигнализация «Обрыв поля»** выведена из работы, т.к. работает в СЗС ТШ,ТП2 якоря.

При отсутствии аварийных сигналов катушка РАС втянута, на двери шкафа ТПВ светится сигнальная лампа HL4 «Готовность».

При повторном включении КТЭ после его отключения деблокировка защит осуществляется нажатием кнопки SB2 «Деблокировка защит».

Резервирование питания обмотки возбуждения осуществляется переключением переключателя П1 в положение «ТПВ1» или «ТПВ2» и заключается в выборе ТПВ.

## 7. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для данного механизма целесообразно использовать программируемые электропривода постоянного тока на базе микропроцессоров. Использование данного вида приводов позволяет обеспечить прямое согласование между программируемым контроллером типа Allen Bradley и приводом (цифровая передача данных - заданий приводу, состояния привода), также исключается возможность формирования паразитных помех вследствие отсутствия в программируемом приводе емкостей САР.

Повышается точность регулирования основных координат электропривода. Допускается возможность использования в электроприводе интеллектуальной периферии, что упрощает обработку входных сигналов.

Второй вариант перспективы развития - замена ЭП постоянного тока на ЭП переменного тока с частотным регулированием скорости.

Достоинством этого типа приводов относится использование двигателей переменного тока, которые имеют меньшие массогабаритные показатели в сравнении с двигателями постоянного тока.

К недостаткам относится сложность реализации системы управления частотных электроприводов.

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

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г3А2	Гозиев Ислонжон Исроилжонович

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетика	<b>Отделение</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	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. *Технико-экономические показатели*
7. *Ресурсоэффективность технического проекта*

**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 С.Н.	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Гозиев Ислонжон Исроилжонович		

## **8 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматривается комплекс работ, которые необходимо провести, чтобы ввести в эксплуатацию электроприводбарабанных ножниц.

Целью наладки электропривода на объекте является доведение электрооборудования до требований, предъявляемых технологическим процессом. Для наладки комплектных электроприводов на предприятии - изготовителе с целью их доводки до показателей, соответствующих техническим условиям, а так же при эксплуатации на промышленном объекте используется специальное контрольно-измерительное оборудование. При наладке используются вспомогательные элементы, встроенные в шкафы электропривода и дополнительные устройства: электронно-лучевой осциллограф, мегомметр для контроля изоляции.

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

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

Работы, связанные с ремонтом, наладкой, монтажом и техническим обслуживанием электрооборудования проводит электроремонтная служба ОАО «ЗСМК».

Данный раздел состоит из 5 подразделов:

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

Все экономические показатели и методика расчёта взяты с ОАО «ЗСМК».

### **8.1 Обоснование выбранного оборудования и принятого способа управления агрегатами.**

Для обеспечения требований, предъявляемых к приводу барабанных ножиц, целесообразно применить систему преобразователь частоты - асинхронный двигатель. В такой системе легче автоматизировать технологический процесс. Асинхронный электродвигатель в переходных режимах может развивать больший момент, чем двигатель постоянного тока, что обеспечит большее быстродействие с наименьшими потерями энергии, а в установившемся режиме – плавное, широкое и экономичное регулирование скорости.

Выбор преобразователя частоты проводился из следующих условий: длительный ток нагрузки, ток кратковременной перегрузки, напряжение питающей сети и применяемого электродвигателя (АИМ-М112М-4).

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты приведено в таблице 16. Для этого необходимо проанализировать не менее 3 конкурентных товаров.

При выборе ПЧ были рассмотрены варианты таких фирм как MOVITRAC, Danfoss, Веспер, ПЧ марки MOVITRAC на данный диапазон мощностей и при соответствующих функциональных возможностях оказались ниже по стоимости. Поэтому выбор был остановлен на ПЧ данной марки.

Таблица 16 – Стоимость ПЧ

Производитель ПЧ	Стоимость
Danfoss FC-102P5K5-3	73590
MOVITRAC mc07b 055-5a3-4-00	70560
Веспер EI-9011-007H	86640

## 8.2 График планово-предупредительных ремонтов

Планово-предупредительные ремонты (ППР) электрооборудования цехов комбината проводятся в соответствии со строгим графиком (таблица 17).

Таблица 17 - График ППР

Название электро-оборудования	Тип	Группа	Межремонтный период		Месяцы года												Кол. Ремонтов				
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
					Т	С														Т	С
Трансформатор	ТМП 4000/10	1	12															Т		1	
Преобразователь	КТЭ 2500/930	2	6	4				Т											Т	2	
Двигатель	2МП - 2000	2	6	4		Т							Т							2	
Кабельная сеть	КВВГ 3x70	2	12	-						Т										1	
УБСР	УБСР	2	6	2				С						Т						1	1
Реле обрыва поля	РЭВ 830УЗ	2	6	2				Т							Т					2	
Автоматический выключатель	ВАТ 42	2	6	2	Т														С	1	1
Реле	РПУЗ	2	6	2		Т								Т						2	
Реле тока	РТЛ 101404	2	6	2				С												1	1



### 8.3 Структура монтажно-наладочных работ

Весь комплекс работ разделим на этапы и определим в процентном соотношении время выполнения работ по каждому этапу отдельно.

Таблица 18 - Состав бригады

Состав - бригады	Разряд /квалификация	Стоимость человеко-часа,руб.
Инженер-наладчик	Инженер I категории	144
Электромонтер	6	123
Электромонтер	5	115
Электромонтер	4	102

Таблица 19 - Этапы МНР в процентном соотношении

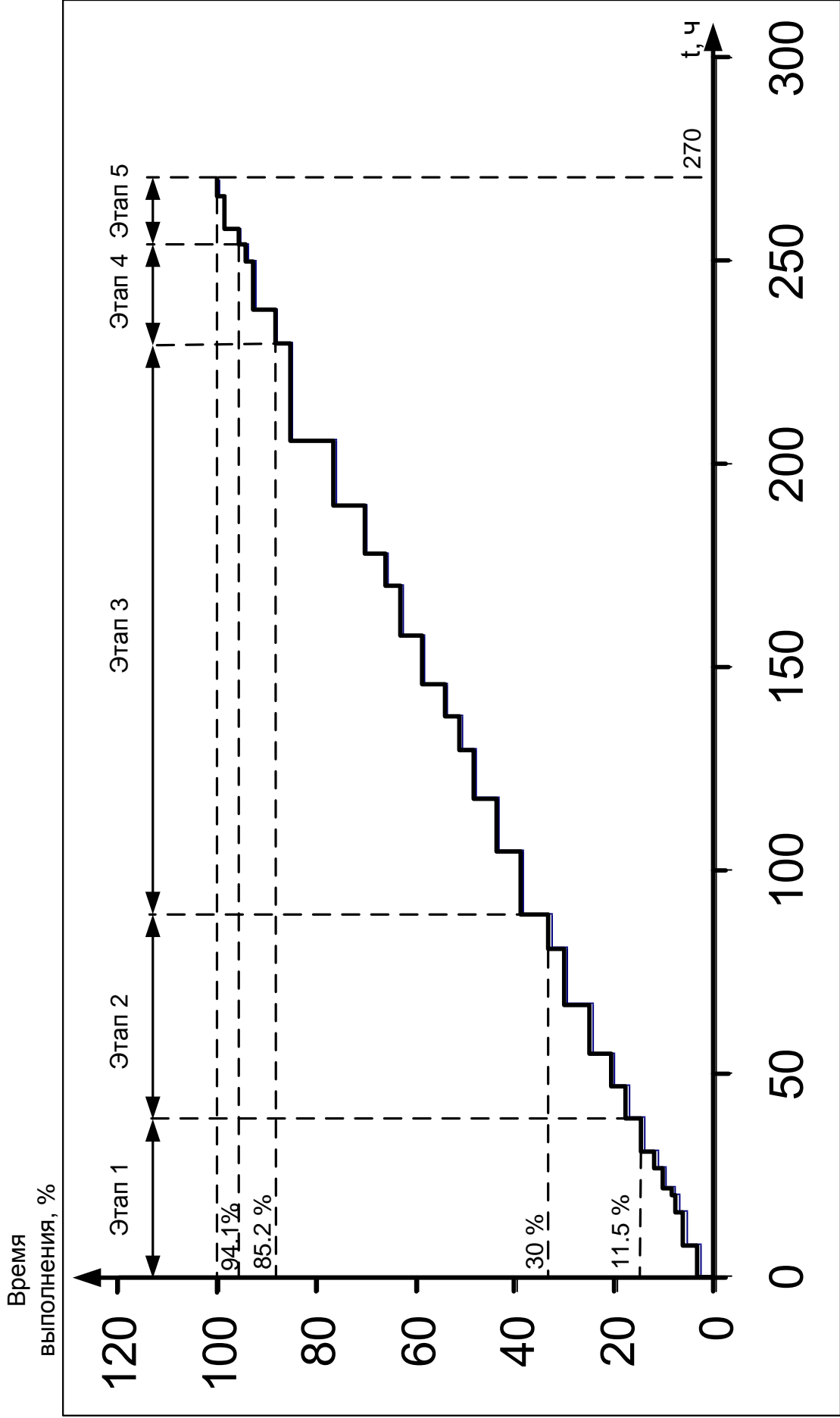
№	Этапы МНР	Время выполнения, %
1	Подготовительные работы	11,5
2	Проверочные работы	18,5
3	Наладочные работы	55,2
4	Комплексное опробование	8,9
5	Оформление отчетной документации	5,9
	ИТОГО:	100

Таблица 20 - Комплект ПНР и последовательность их выполнения

Наименование работ	Исполнитель	Часы
<b>1. Подготовительный этап</b>		
- Ознакомление с проектом электроустановки, выявление неточностей;	1,2,3,4	8
- Составление рабочего графика проведения МНР и согласование его с руководством цеха;	1,2,3,4	8
- Подготовка аппаратуры и инструмента;	1,2,3,4	4
- Внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности;	1,2,3,4	2
- Определение соответствия технических характеристик, установленного оборудования;	1,2,3,4	5
- Составление рабочей программы испытаний, наладки с учетом особенностей проекта.	1,2,3,4	4
<b>ИТОГО по п. 1</b>		<b>31</b>
<b>2. Проверочные работы</b>		
- Проверка качества электромонтажных работ и их соответствие рабочим чертежам проекта;	1,2,3,4	8
- Проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие характеристик привода;	1,2,3,4	8
- Измерение аппаратурных параметров оборудования и электрических схем;	1,2,3,4	8
- Проверка правильности выполнения схем первых и вторых коммутаций;	1,2,3,4	12
- Проверка и настройка электрических схем дистанционного управления	1,2,3,4	14

<b>ИТОГО по п.2</b>		<b>50</b>
<b>3. Наладочные работы</b>		
- Проверка правильности монтажа схем;	1,2,3,4	8
- Проверка сопротивления изоляции;	1,2,3,4	16
- Проверка и настройка отдельных элементов и функциональных групп;	1,2,3,4	13
- Регулировка релейной аппаратуры;	1,2,3,4	12
- Проверка чувствительности датчиков;	1,2,3,4	8
- Проверка диапазонов изменения напряжения управления преобразователя;	1,2,3,4	8
- Проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты;	1,2,3,4	12
- Проверка работы автоматического выключателя	1,2,3,4	12
- Проверка работы сельсинного командоаппарата;	1,2,3,4	8
- Окончательная проверка и наладка защиты и блокировок;	1,2,3,4	12
- Снятие и настройка необходимых характеристик элементов автоматического управления;	1,2,3,4	16
- Испытание и настройка оборудования на холостом ходу и под нагрузкой.	1,2,3,4	24
<b>ИТОГО по п.2</b>		<b>149</b>
<b>4. Комплексное опробование</b>		
Проверка режимов работы электропривода ножниц	1,2,3,4	8
- Согласование входных и выходных параметров на входе и выходе характеристик отдельных механизмов;	1,2,3,4	12
- Обеспечение заданных технологических и энергетических показателей.	1,2,3,4	4

<b>ИТОГО по п.4</b>		<b>24</b>
<b>5. Составление отчетной документации</b>		
- Составление протоколов ПНР;	1	4
- Внесение в один экземпляр принципиальных схем изменений, внесенных во время ПНР;	1	8
- Нормы проведения ПНР электропривода барабанных ножниц	1	4
<b>ИТОГО по п.5</b>		<b>16</b>
<b>ИТОГО</b>		<b>270</b>



#### 8.4 Определение затрат на приобретение и монтаж электрооборудования

Затраты на приобретение и монтаж электрооборудования называются капитальные затраты. Они складываются из стоимости оборудования и стоимости монтажно-наладочных работ (МНР).

Состав МНР определен исходя из комплекта электропривода барабанных ножниц. Данные расчетов заносим в таблицу 21.

МНР являются важным звеном в подготовке оборудования к эксплуатации. Целью МНР является доведение электропривода ножниц до требований, предъявляемых технологическим процессом.

Таблица 21 - Смета затрат на приобретение и монтаж электрооборудования

Наименование и характеристика монтажных работ	Количество	Сметная стоимость за единицу, руб	Сметная стоимость общая, руб
Трансформатор	2	470000	940000
Преобразователь	2	70560	141120
Двигатель	1	300000	300000
Кабельная сеть	1	2000	2000
УБСР	30	2000	60000
Реле обрыва поля	1	600	600
Автоматический выключатель	2	2000	4000
Реле	4	600	2400
Реле тока	1	900	900
Итого			1505880
Транспортные расходы 10%			150588
<b>Итого стоимость оборудования</b>			<b>1656468</b>
Пуско-наладочные работы			418054
Заготовительно-складские расходы 1,2%			19878
Плановые наложения от монтажно-наладочных работ 6%			99388
Итого монтажно-наладочных работ			537320
<b>Всего капитальные затраты составили</b>			<b>2193788</b>

## 8.5 Определение стоимости ПНР

Определение стоимости ПНР – включает в себя:

- затраты на материалы;
- отчисления в социальные фонды;
- накладные расходы;
- заработная плата.

Все работы производятся в строгом соответствии с нормами их проведения. В таблице 21 представлены затраты на пуско-наладочные работы, в ценах 2018г.

Основная заработная плата наладчиков, с учетом районного коэффициента  $K_p = 1,3$  и коэффициента, вводимого при работах в действующих установках  $K_d = 1,3$  определяются следующим образом

$$ЗП_{\text{осн}} = k_p \cdot k_d \cdot Ц_{\text{пнр}} = 1.3 \cdot 1.3 \cdot 125240 = 211656 \text{ руб.},$$

где  $Ц_{\text{пнр}} = 125240$  руб. - стоимость пуско-наладочных работ согласно табл.

21.

Дополнительная заработная плата наладчиков составляет 12% от основной

$$ЗП_{\text{доп}} = 0.12 \cdot ЗП_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 211656 = 25400 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды в РФ составляет 30,2 % от основной заработной платы

$$0,302 \cdot ЗП = 0,302 \cdot (211656 + 25400) = 71591 \text{ руб}$$

Накладные расходы (тепло- и водоснабжение, электроэнергия) при производстве пуско-наладочных работ составляют 40 % от суммы  $H_p = 0.4 \cdot ЗП = 0.4 \cdot (211656 + 25400) = 94822$  руб.

Стоимость материалов, необходимых для проведения монтажно-наладочных работ принимается из расчета 1% от стоимости оборудования

$$C_m = 0.01 \cdot C_{\text{об}} = 0.01 \cdot 1505880 = 15059 \text{ руб.},$$

Стоимость основного оборудования приведена в таблице 22.

Таблица 22 - Затраты на ПНР в ценах 2018 г. [данные ОАО «ЗСМК»]

Наименование работ	Единицы измерения	Количество	Стоимость работ ,руб.
1. Наладка реверсивного тиристорного преобразователя (ТП-Д)	шт.	1	29776
2. Наладка системы регулирования электроприводом.	шт.	1	70380
5. Наладка двигателя постоянного тока	шт.	1	8951
4. Наладка схем с датчиком ЭДС -на измерительный прибор -работу в САР		1	1083
	шт.	1	1083
5. Наладка схем с датчиком тока - на измерительный прибор - в схему САР	шт.	1	1155
	шт.	1	5955
6. Настройка автоматического выключателя	шт.	1	6858
<b>ИТОГО</b>			<b>125240</b>

Затраты на ПНР приведены с учётом трудоёмкости по тарифным ставкам.



Таблица 23 – Смета затрат на проведение ПНР

Наименование статьи расходов	Сумма руб.	% от стоимости
Затраты на материалы	15059	3,6
Полная заработная плата	237056	56,7
Отчисления во внебюджетные	71591	17,0
Накладные расходы	94822	22,7
Итого затрат	418054	100

### 8.6 Техничко-экономические показатели

Данный электропривод отличается высокой надежностью работы, надежностью системы защит и сигнализации, а также рядом технико-экономических показателей. Техничко-экономические показатели электропривода сведем в таблицу 24.

Таблица 24 - Техничко-экономические показатели ЭП барабанных ножниц

Наименование показателя	Ед. Изм.	Показатель
Мощность двигателя постоянного тока	кВт	P = 2000 тип МП
Ток и напряжение тиристорного преобразователя	А, В	I=2500, U=930 тип КТЭ 2500/930
Мощность силового трансформатора	кВА	STp=3230 тип ТМП 4000/10
Сумма затрат на приобретение электрооборудования	тыс.руб.	1775,7
Стоимость монтажно-наладочных работ	тыс.руб.	418,1
Продолжительность монтажно-наладочных работ	час	270
Итоговая стоимость оборудования	тыс.руб.	2193,8

Стоимость оборудования включает в себя сумму затрат на приобретение и монтажно-наладочные работы. Данный электропривод был выбран на основании

высокой надежности работы, надежности системы защит и сигнализации, а также ряда технико-экономических показателей, которые приведены выше.

### 8.7 Ресурсоэффективность технического проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (5)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию привода барабанных ножниц следует рассмотреть следующие критерии:

- надежность электроснабжения–способность системы электроснабжения, в составе которой работают энергопринимающие установки потребителей, при определенных условиях обеспечить им поставку электрической энергии в соответствии с заявленными требованиями.

- материалоемкость– показатель расхода материальных ресурсов на производство продукции. Выражается в натуральных единицах расхода сырья, материалов, топлива и энергии, необходимых для изготовления единицы продукции.

- помехоустойчивость– это способность сигнала противостоять действию помех (т.е. сохранять содержащуюся в нём информацию, несмотря на действие помех).

- Возможность подключения сети Ethernet –это наиболее распространённая технология организации локальных сетей. Стандарты Ethernet описывают реализацию двух первых уровней передачи информации – проводные соединения и электрические сигналы (физический уровень), а так же

форматы блоков данных и протоколы управления доступом к сети (канальный уровень).

- Безопасность – состояние защищённости жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и их последствий.

Оценка критериев ресурсоэффективности проекта приведена в таблице 25.

Таблица 25 – Оценка критериев ресурсоэффективности проекта.

Критерии	Весовой коэф.	Danfoss	MOVITRAC	Веспер
Компактность	0,2	9	10	8
Помехоустойчивость	0,15	8	9	8
Энергоэффективность	0,05	10	10	10
Долговечность	0,3	10	10	9
Ремонтопригодность	0,1	10	10	10
Материалоемкость	0,2	9	10	10
Итого	1	9,3	9,8	9,1

По составленной таблице 23 определяем интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{Danfoss} = 9*0,2+8*0,15+10*0,05+10*0,03+10*0,01+9*0,2=9,3;$$

$$I_{MOVITRAC} = 10*0,2+9*0,15+10*0,05+10*0,03+10*0,01+10*0,2=9,8;$$

$$I_{Веспер} = 8*0,2+8*0,15+10*0,05+9*0,03+10*0,01+10*0,2=9,1.$$

Проанализировав с позиции финансовой эффективности и ресурсоэффективности, выбираем для проектной работы преобразователь частоты MOVITRAC, как наиболее эффективный. Показатель ресурсоэффективности проекта с использованием ПЧ MOVITRAC имеет достаточно высокое значение 9,8(по 10-балльной шкале). Высокие баллы надежности и безопасности, а так же энергосбережения позволяют судить о надежности системы.

## **Заключение**

В данном разделе были организованы пуско-наладочные работы электропривода барабанных ножниц. Они заключались в замене старого электропривода на новый с большим КПД и меньшей потребляемой мощностью. Из этих работ видно, что все работы выполняет собственная бригада из 4-х человек, на которые потребуется 270 часов. Состав бригады: инженер – наладчик, электромонтёры 4, 5 и 6-го разрядов. Все работы, кроме оформления отчетной и приемо-сдаточной документации, бригада выполняет в полном составе. Оформление отчетной документации осуществляет инженер. На основании расчета интегрального показателя вариантов исполнения разработанного проекта, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсоэффективности наиболее эффективным является исполнение электропривода барабанных ножниц с преобразователем частоты MOVITRAC. Оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (9,8 по 10-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта. Основными критериями ресурсоэффективности проекта явились: надежность, энергосбережение, материалоемкость, помехоустойчивость, возможность подключения сети Ethernet и безопасность.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
3-5ГЗА2	Гозиев Исламжон Исроилжонович

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

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Регулируемый электропривод барабанных ножниц
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения –	<b>Анализ вредных факторов:</b> 1. Шум; 2. Вибрация; 3. Электромагнитное излучение; 4. Освещенность рабочей зоны  <b>Анализ опасных факторов:</b> 1. Механические травмы; 2. Поражение электрическим током.
<b>2. Экологическая безопасность:</b> –	1. Анализ воздействия объекта на гидросферу (выбросы теплоты в водоемы, изменение условий ледостава и зимнего гидрологического режима).  2. Анализ воздействия на литосферу: образование отходов, связанных с заменой комплектующих разрабатываемого оборудования, образование золоотвалов.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> –	Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха – пожар. Разработка мер безопасности во время эксплуатации разрабатываемого решения: – по необходимому оснащению (первичные средства пожаротушения, пожарная

	<p>сигнализация, система автоматического пожаротушения);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– инструкция по пожарной безопасности для работников;</li> <li>– план эвакуации работников при пожаре.</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Случаи представления гарантий и компенсаций (в соответствии со ст. 165 ТК РФ);</li> <li>2. Правил внутреннего трудового распорядка предприятия;</li> <li>3. Разработка организационных мероприятий при компоновке рабочей зоны (в соответствии с эргономическими требованиями).</li> </ol>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Гозиев Ислонжон Исроилжонович		

## **9 Социальная ответственность**

Исследуемый в проекте электропривод барабанных ножниц на базе реверсивного тиристорного преобразователя, предназначен для управления работой ножниц в процессе пореза раската на мерные длины. В приводе барабанных ножниц используются электроустановки как низкого напряжения (до 1000 В) так и высокого (выше 1000 В) [8].

С целью поддержания системы регулирования в исправном и работоспособном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации, предусмотрены следующие мероприятия:

- периодические осмотры устройства регулирования, оперативным персоналом один раз за смену;
- регулировочные мероприятия и осмотр устройства управления, оперативно-ремонтным персоналом еженедельно;
- техническое обслуживание два раза в год;
- текущий ремонт один раз в год.

Работы по обслуживанию и ремонту электропривода, проводимые оперативно-ремонтным и ремонтным персоналом, ведутся на технологическом оборудовании и вблизи него. Работы по обслуживанию и ремонту устройства управления, имеющего щитовое исполнение и находящегося в помещении операторной, ведутся при искусственном освещении.

Для оперативного проведения ремонта вышедшего из строя оборудования, в условиях непрерывного производства, обслуживающему персоналу необходимо иметь четкие знания и соблюдать правила безопасности согласно [14].

### **9.1 Анализ условий труда**

Технология металлургического производства характеризуется быстрым протеканием процессов с использованием больших объемов сырья, топлива и энергии, что предъявляет высокие требования к обслуживающему персоналу.

Это обстоятельство вызывает необходимость максимальной механизации ручного труда и автоматизации технологических процессов.

Наличие высокотемпературных интенсивных технологических процессов, использование объемных агрегатов больших тепловых мощностей создают условия для сложной комбинированной характеристики производственной среды металлургического производства. Как известно, совокупность факторов производственной среды называется условиями труда.

По конечному результату воздействия на человека и механизму действия производственные факторы разделяют на опасные и вредные.

Пром.площадка ОАО «ЗСМК» расположена в болотистой местности по берегу реки Томь.

Источниками вредных выбросов в атмосферу (сажа, CO, SO<sub>2</sub>, N<sub>x</sub>O<sub>y</sub>) в прокатном производстве являются дымовые трубы нагревательных печей и нагревательных колодцев. Наиболее эффективными приемами их снижения являются совершенствование конструкции печей и топливосжигающих устройств, приводящие к уменьшению удельного расхода топлива.

Применение аппаратных методов очистки дымовых газов от вредных примесей в данном случае экономически не оправдано в связи с низкими их концентрациями в отходящих газах.

В прокатном производстве образуются также значительное количество твердых отходов в виде прокатной окалины. Крупная прокатная окалина достаточно легко обезвоживается в первичных отстойниках и полностью используется затем при агломерации в аглоцехе ОАО «ЗСМК».

Мелкая, замасленная прокатная окалина вместе со сточными водами поступает на очистку во вторичных отстойниках системы оборотного водоснабжения прокатных цехов. Сточные воды очищаются от масел и мелкой окалины и используются в оборотном цикле.

Процесс получения готовой продукции в цехе связан с использованием большого количества горячего (до 1280 С) металла, с применением газа, сжатого воздуха, кислорода и т.д.



Возможны ожоги тела от соприкосновения с горячим металлом, оборудованием или инструментом, ранения отлетающей окалины, от падения транспортируемых и незакрепленных предметов.

Движущие и вращающиеся части механизмов, загроможденные проходы и другие могут быть также причинами несчастного случая.

Все это вызывает необходимость применения предупреждающих мер, направленных на обеспечение безопасных условий труда.

Эти меры сводятся к использованию спецодежды и индивидуальных защитных средств, применение оградительных приспособлений (экранов, защитных щитов и т.д.), содержанию рабочих мест в чистоте и исправности, обучению всех трудящихся безопасным приемам работы и строгом соблюдении трудящимися правил техники безопасности и производственной санитарии.

Движущиеся и вращающиеся части механизмов стана должны быть закрыты ограждением с закрывающимися устройствами.

Обжимной цех ОАО «ЗСМК» относится к категории наиболее шумных цехов комбината. Основным источником шума - прокатный стан.

Анализируя данные показателей вредных факторов на основных рабочих местах обжимного цеха ОАО «ЗСМК» содержание пыли, содержание вредных химических веществ, тепловое облучение, относительная влажность, температура воздуха в пределах нормы.

## **9.2 Техника безопасности при обслуживании и ремонте электрооборудования**

Для подготовки рабочего места при работах со снятием напряжения должны быть выполнены в указанной ниже последовательности следующие технические мероприятия:

- производство необходимых отключений и принятие мер, препятствующих подаче напряжения к месту работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры;

- вывешивание плакатов «Не включать - работают люди!», «Не открывать - работают люди!» и при необходимости установка ограждений;
- присоединение к «земле» переносных заземлений. Проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях, на которые должно быть наложено заземление;
- наложение заземлений (непосредственно после проверки отсутствия напряжения), т.е. включение заземляющих ножей, или там, где они отсутствуют, наложение переносных заземлений;
- ограждение рабочего места и вывешивание предупреждающих плакатов.

Предельно допустимые значения токов и напряжений прикосновения, протекающих через тело человека и предназначенных для проектирования способов и средств защиты людей, при взаимодействии их с электроустановками производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока показаны в таблице 26.

Таблица 26 - Предельно-допустимые значения токов и напряжений прикосновения.

Род тока	U, в	I, mA
Переменный, 50 Гц	24	0,3
Постоянный	42	1

### 9.3 Производственная санитария

Основное оборудование НЗС расположено в помещении цеха, в котором не поддерживается постоянная температура и относительная влажность. К санитарно-бытовым помещениям относятся гардеробные с умывальниками и душевыми, сауна, оздоровительный комплекс, здравпункты по оказанию первой медицинской помощи пострадавшим на производстве и заболевшим, а также для проведения лечебной и санитарно-профилактической работы.

Температура, влажность, скорость движения воздуха и содержание вредных веществ в воздухе санитарно-бытовых помещений нормируется в соответствии с [23]. В производственных и подсобных помещениях должны быть приняты меры к максимальному использованию естественного освещения. Окна должны быть полностью остеклены и содержаться в чистоте.

Допустимые уровни звукового давления и уровни звука на постоянных рабочих местах приводятся в зависимости от частоты, характера шума и категории рабочего места (кабины наблюдений, помещения управления, постоянные рабочие места и т. д.). Ниже в таблице 75 приведем допустимые уровни шума для нашего случая.

Согласно [24] предусмотрено несколько мероприятий для снижения шума до значений, не превышающих допустимые: технические средства борьбы с шумом (уменьшение шума машин в источнике, применение технологических процессов, при которых уровень звукового давления на рабочих местах не превышает допустимые, и др.); строительно-акустические; дистанционное управление шумными машинами; использование средств индивидуальной защиты; организационные (выбор рационального режима труда и отдыха, сокращение времени нахождения в шумных условиях, лечебно-профилактические и другие мероприятия).

Таблица 75 - Допустимые уровни шума на рабочем месте.

Рабочее место	Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука в эквиваленте
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятия	9	2	6	3	0	8	6	4	85

В процессе монтажа и эксплуатации оборудования особое внимание необходимо обратить на его балансировку, крепление и устройство фундаментов.

## Расчет искусственного освещения цеха.

Для расчета равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод коэффициента использования (метод светового потока), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен.

Потребный поток ламп в каждом светильнике рассчитывается по выражению [22]:

$$\Phi_{л} = \frac{E_{мин} \cdot S \cdot z \cdot K}{N \cdot \eta},$$

где  $E_{мин}$  - нормированная минимальная освещенность, лк;

K - коэффициент запаса (1,1 - 1,5);

S - освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;

Z - коэффициент неравномерности освещения, равный отношению  $E_{ср}/E_{мин}$ , значение которого для дугоразрядных ламп ДРЛ равно 1,1;

N - число светильников в помещении;

$\eta$  - коэффициент использования светового потока ламп, зависящий от КПД и кривой распределения силы светильника, коэффициента отражения потолка и стен, высоты подвеса светильников и индекса помещения, учитывающее влияние формы помещения на распределение светового потока.

Значение коэффициента использования светового потока определяется по [18]. Индекс помещения (характеризует соотношение размеров освещаемого помещения и высоты подвеса светильников в нем):

$$i_n = \frac{H \cdot L}{h_p \cdot (H + L)},$$

где H = 30 м - ширина освещаемого помещения;  
L = 150 м - длина помещения;

$h_p$  = 12 м - высота светильников над рабочей поверхностью.

Округляем  $i_n = 2,083$  до значения 2 [18].

Коэффициент запаса для помещений K = 1,5.

Коэффициент использования светового потока ламп с отражателем  $\eta = 0.85$

$$\Phi_{л} = \frac{300 \cdot 4500 \cdot 1.1 \cdot 1.5}{50 \cdot 0.85} = 49500 \text{ лм.}$$

Подсчитав подбираем по [18] светильник, оснащенный стандартной лампой ДРЛ, Р = 1000 кВт, U = 220 В, световой поток  $\Phi_{л} = 50000$  лм.

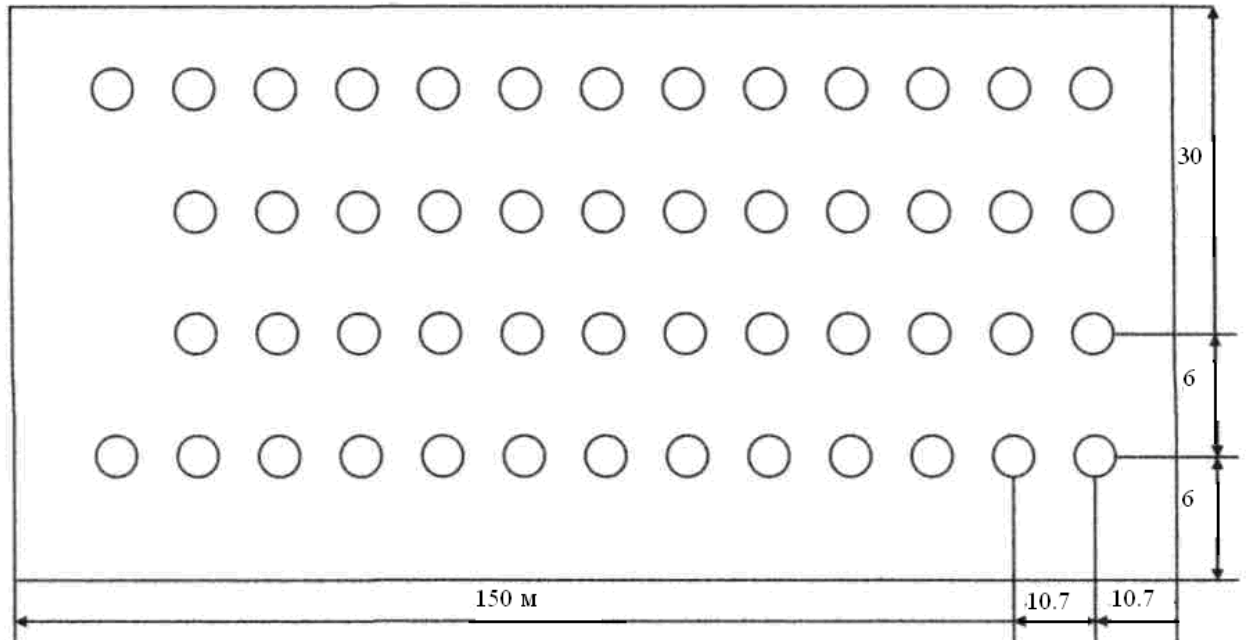


Рисунок 29 - Схема расположения светильников

### Микроклимат

Оптимальный микроклимат в помещении обеспечивает поддержание теплового равновесия между организмом и окружающей средой.

Для создания нормальных условий труда в производственных помещениях обеспечивают нормативные значения параметров микроклимата температуры воздуха, его относительной влажности и скорости движения, а также интенсивности теплового излучения

В ГОСТ 12.1.005-88 указаны оптимальные и допустимые показатели микроклимата в производственных помещениях.

ГОСТ 12.1.005-88 устанавливает предельно допустимые концентрации вредных веществ ПДК (мг/м<sup>3</sup>) в воздухе рабочей зоны производственных помещений и требования к метеорологическим условиям (микроклимат) в производственных условиях.

Таблица 28 - Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости воздуха в рабочей зоне производственных помещений.

Период года	Категория работы	Температура, С	Относительная влажность. %	Скорость движения воздуха, м/с не
Холодный	Лёгкая – 1а	20-22	60-30	<0,2
Теплый	Лёгкая – 1а	22-25	60-30	0,2-0,5

Таблица 29 - Допускаемая температура и относительная влажность воздуха в рабочей зоне производственных помещений.

Помещение	Температура, °С		Относительная влажность воздуха, %	
	в холодный период года	в тёплый период года	в холодный период года	в тёплый период года
Панели павного щита управления	18-23	Не выше 25	60-30	70-30

#### 9.4 Пожарная безопасность

Помещение, где расположен обжимной цех, по взрывопожарной опасности относится по ПУЭ к категории В-1а (Находятся в помещениях, где при соблюдении нормального режима работы горючие газы (при любом нижнем концентрационном пределе воспламенения) или пары ЛВЖ, взаимодействуя с воздухом, не образуют взрывоопасные смеси, если нет неисправностей и аварий).

По способности конструкций сопротивляться воздействию пожара, т.е. сохранять эксплуатационные функции в течение определенного времени соответствует второй степени огнестойкости.

Помещение снабжено поперечными и продольными противопожарными преградами препятствующими распространению огня.

Причинами распространения пожара являются:

- нарушение противопожарного режима при ведении ремонтных работ;
- применения масел и жиров, умеющих самовозгораться;
- избыточное количество в воздухе водорода и аммиака;
- возникновение токов короткого замыкания.

Помещение оснащено согласно [17]:

-сетью противопожарного водопровода, укомплектованного рукавами и стволами, пожарный рукав присоединен к крану и стволу.

-в качестве передвижных средств тушения имеются углекислотные огнетушители емкостью не менее 40 л (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8), огнетушители химические пенные ОХП-10 (6 шт.).

-имеются ящики с песком объемом по 0,5-3 м каждый, ломы, багры и лопаты с деревянными ручками, топоры и ведра (4 шт.). В случае необходимости число перечисленных средств может быть увеличено.

- помещение оснащено пожарной сигнализацией, на территории завода находится военизированная пожарная часть.

Для обеспечения безопасности ремонтных работ и предотвращение пожара в электроустановках необходимо надежное отключение электропитания. При остановке на ремонт оборудования с вращающимися и движущимися частями производится двойное отключение.

При выполнении огневых работ необходимо принять меры к недопущению случаев пыле- и газовой выделения или разлива горючих жидкостей.

Эвакуация людей в случае пожара производится через запасные выходы (рисунок 30).

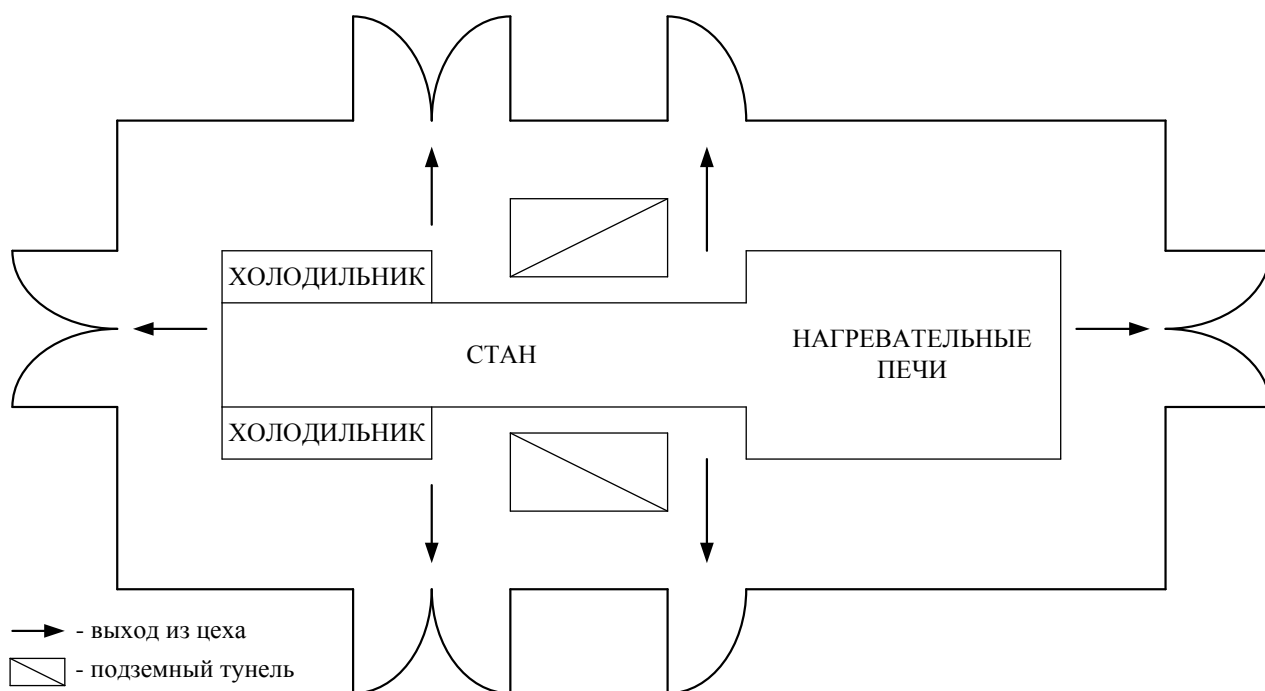


Рисунок 30 – План эвакуации

## 9.5 Охрана окружающей среды

Планом структурной перестройки ОАО «ЗСМК» предусмотрена коренная реконструкция прокатного производства. Это обусловлено, с одной стороны, моральным и физическим износом, а с другой стороны - необходимостью ликвидации существующих диспропорций между сталеплавильным и прокатным комплексом ОАО «ЗСМК» и перехода на непрерывную разливку стали вместо существующей технологии разливки в изложницы.

Осуществление структурной перестройки на ОАО «ЗСМК» позволит существенно материалоемкость и энергоемкость конечного продукта, а также снизить количество вредных веществ в атмосферу в общей сложности на 200 - 230 тыс.т/год.



## **9.6 Мероприятия по ликвидации чрезвычайной ситуации в обжимном цехе ОАО «ЗСМК»**

Прокатное производство характеризуется наличием широко развитой сети кабельного хозяйства, в котором, как правило, все кабели горючие. С кабелями непосредственно связано большое количество различного электротехнического оборудования. На основании этого наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией в условиях сортопрокатного цеха ОАО "ЗСМК" является - пожар, вследствие короткого замыкания в подвале электромагнитных помещений.

Коротким замыканием называется такой аварийный режим в сетях и устройствах, при котором происходит соединение разноименных проводов, находящихся под напряжением, через весьма малое сопротивление, не предусмотренное режимом работы цеха, аппарата. Короткое замыкание сопровождается большим тепловыделением, образованием в зоне замыкания дуги с разбрызгиванием металла.

### **Мероприятия по ликвидации пожара:**

При возникновении малейшего возгорания, в первую очередь вызвать пожарную охрану по телефону или приведением в действие извещателя электрической пожарной сигнализации. При вызове пожарной помощи по телефону надо четко указать название цеха, его номер. Вызвавший пожарную часть должен направиться к ближайшему выходу, чтобы встретить прибывшее подразделение.

Одновременно с вызовом пожарной помощи необходимо организовать тушение пожара с помощью имеющихся в цехе средств. Если пожар угрожает людям, прежде всего надо оказать им помощь.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной работе был рассмотрен технологический процесс пореза раската на мерные длины, так же ряд сложностей возникающих в процессе работы и вызывающих отклонение технологических параметров от заданных, что приводит к образованию остатков, отходов металла в следствии несогласованности скорости ножниц и головной части раската.

В настоящее время на ОАО «ЗСМК» управление барабанными ножницами осуществляется программируемым контроллером «AllenBradley», связанным с системой раскрой фирмы «Simens». Но так, как отечественные электропривода и аппаратура более доступны, то в данной работе подобран комплектный унифицированный электропривод отечественного производства с системой согласования скоростей на основе сельсинного командоаппарата.

Проведенные исследования при помощи математического моделирования на ЭВМ, показывают, что разработанный электропривод отвечает необходимым технологическим требованиям.

В работе представлена математическая модель технологического процесса работы барабанных ножниц, состоящая из пуска двигателя и двух последующих резов металла, происходящих на каждый оборот несущих барабанов.

В работе рассмотрены вопросы охраны труда и промышленной безопасности. Рассчитаны технико-экономические показатели монтажно-наладочных работ.

## **The concluding**

In the given activity was reviewed a manufacturing process of cutting the rolled metal on the measured lengths, also number (series) of complexities arising during activity and deflective technological parameters from given, that results in forming remains of metal on account of non-coordination speeds of shears and the heard of rolled metal.

Now on joint-stock company «ZAPSIB», the shears is controlled by the programming controller «Allen Bradley», which is connecting with system of cutting the rolled metal of «Siemens». But, as domestic electric drive and instrumentations are more accessible, in the given activity the complete unified electric drive of domestic production was selected with system of coordination of speeds on the base of selsins control.

The conducted researches through mathematical modeling on IBM, demonstrate, that the designed electric drive responds the indispensable technological requirements.

Also in activity was reviewed the mathematical model of a manufacturing process of operating conditions the drum-shears, which include the start of electric drive and by turn two cuts of rolled metal on every turn of carrying drums.

In activity the safety issues of activity and environmental protection were reviewed. The technical and economic parameters of starting-up and adjustment works are counted.

## **ЛИТЕРАТУРА**

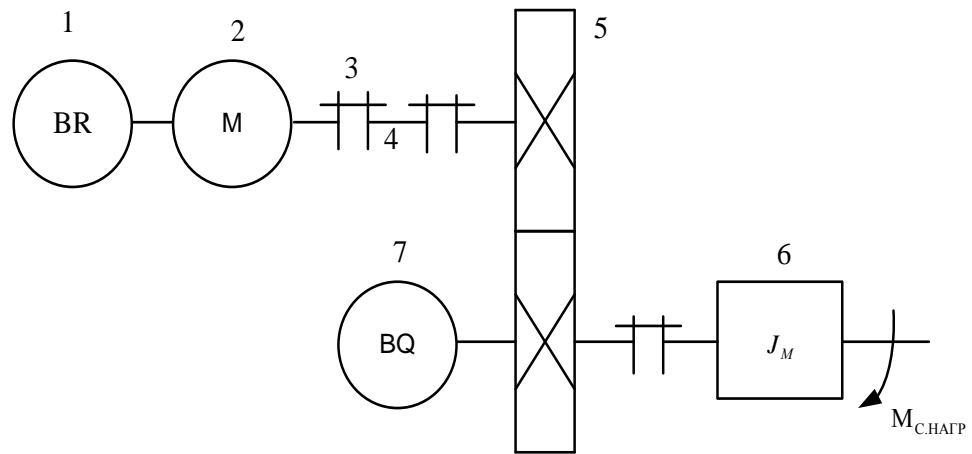
1. Удут Л.С., Мальцева О.П., Коянин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: Учебное пособие.- Томск: изд. ТПИ им. С.М.Кирова, 1991.-104 с.
2. Удут Л.С., Мальцева О.П., Коянин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1 - Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2 - Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие.- Томск: изд. ТПУ, 2000.- 144 с.
3. Удут Л.С., Коянин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 4 - Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие.-Томск: изд. ТПУ, 2002.- 150 с.
4. Коянин Н.В.,Удут Л.С., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5 - Применение программы DORA-FUZZY в расчетах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие.- Томск: изд. ТПУ, 2001.-155 с.
5. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./ Под общ. Ред. И.П. Копылова и Б.К.Клокова. Т.1 - М.: Энергоатомиздат, 1988 - 456 с.
6. Дружинин Н.Н.Электрооборудование прокатных цехов. М.: изд. НТИ литературы по черной и цветной металлургии, 1956.- 455 с.
7. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: «Высшая школа», 1977 - 390 с.
8. Гарнов В.К., Рабинович В.Б., Вишневецкий Л.М. Унифицированные системы автоуправления электроприводом в металлургии. М.: изд. «Металлургия», 1971 - 214 с.
9. Шипило В.П. Автоматизированный вентильный электропривод. М.: изд. «Энергия», 1969- 230 с.
10. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник под ред. В.М. Перельмутера. М.: Энергоатомиздат, 1988 - 319 с.
11. Справочник по автоматизированному электропривода. Под ред

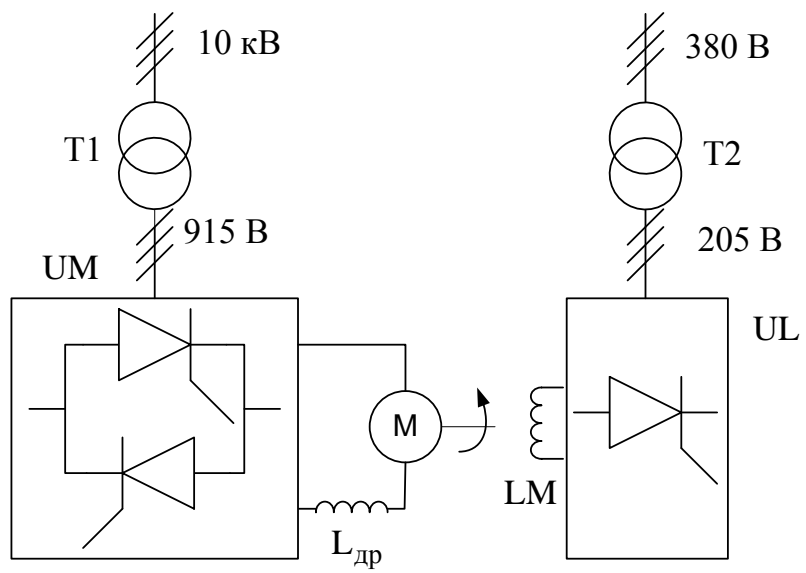
- В.А.Елисеева и А.В.Шинянского - М:Энергоатомиздат, 1983 - 616 с.
12. Справочные данные по электрооборудованию. Т.1 Электрические машины общего применения- М: Энергия, 1964 - 325 с.
13. Хорьков К. А, Хорьков А.К. Электромеханические системы. Элементы канала управления ч. 1: изд ТПУ 1999 г, 340 с, ч. 2 : изд. ТПУ 2001 г,400с.
14. Типовое положение о ТООиР электрооборудования предприятий системы министерства черной металлургии СССР. Харьков, 1988.
15. Бенгольский БЛ.Экономика, организация и планирование производства на предприятиях черной металлургии — М.: Металлургия, 1982. 16.Метц А.Ф. Экономика, организация и управление производством на предприятиях черной металлургии М: Металлургия, 1981.
17. Степанов И.Г. Организация производства на предприятиях черной металлургии.-М. Металлургия, 1992.-144с..
18. Петухов Р.М., Лазуткин Е.С. Экономическая эффективность и организация производства.-М. .-экономика, 1972 .-223с.
19. ГОСТ 12.1.033-91.-ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.М.: Издательство стандартов, 1962.-7с.
- ГОСТ 12.1.007-76.ССБТ. Вредные вещества. Классификация// Госстандарты СССР.ССБТ: Издательство стандартов, М.1981.-С.93-97.
20. Азенберг Ю.Б. Световые приборы. М.: «Энергия», 1988 - 450 с.
- 20.Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования СНИП 11 -4-79/ Госстрой СССР.-М.: Стройиздат. 1980.-35с
- 21.ГОСТ 12.1005-76. ССБТ: Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования// Госстандарты СССР ССБТ: М.: Издательство стандартов, 1981.-0.56-88.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Графический материал

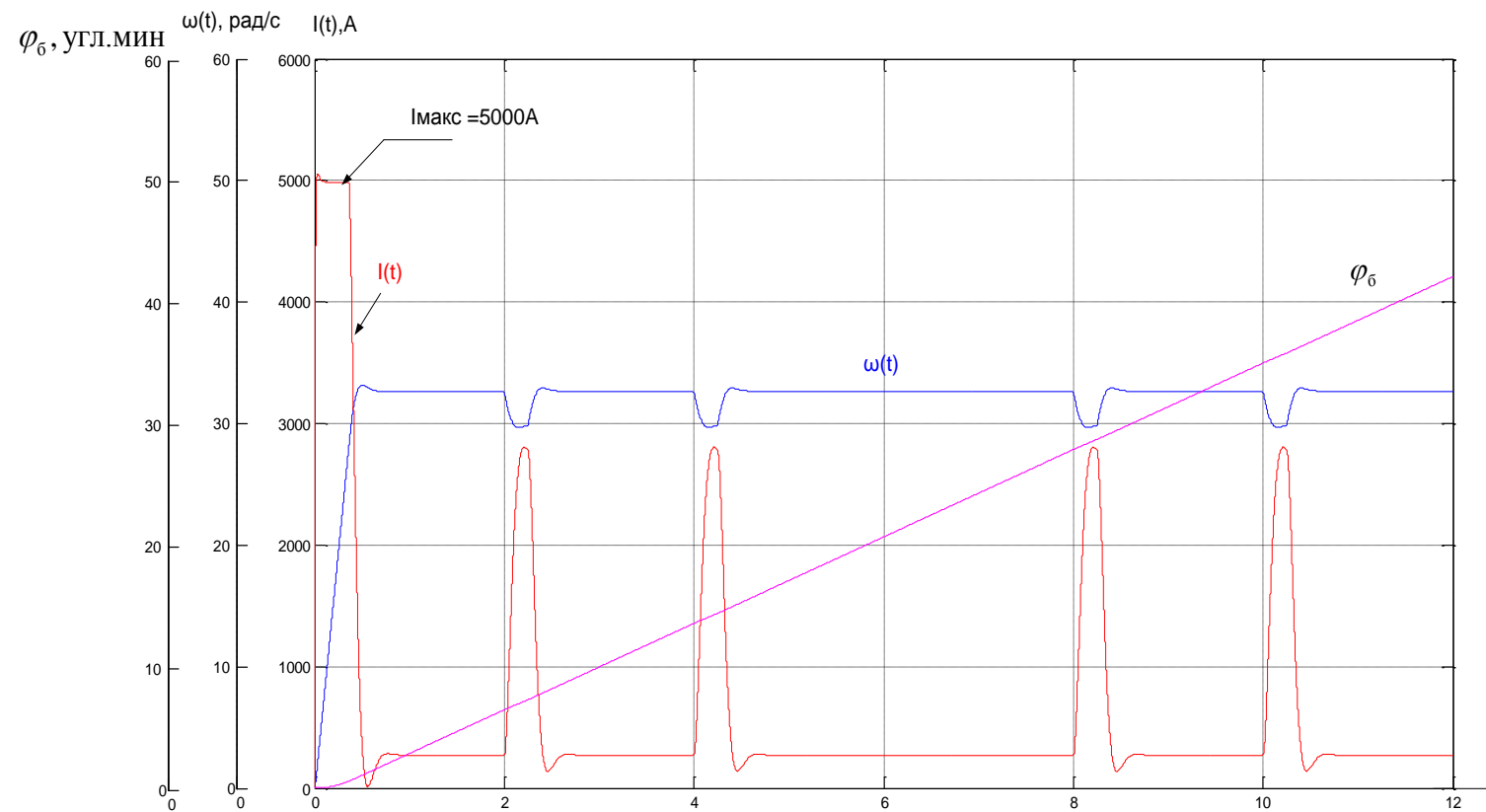


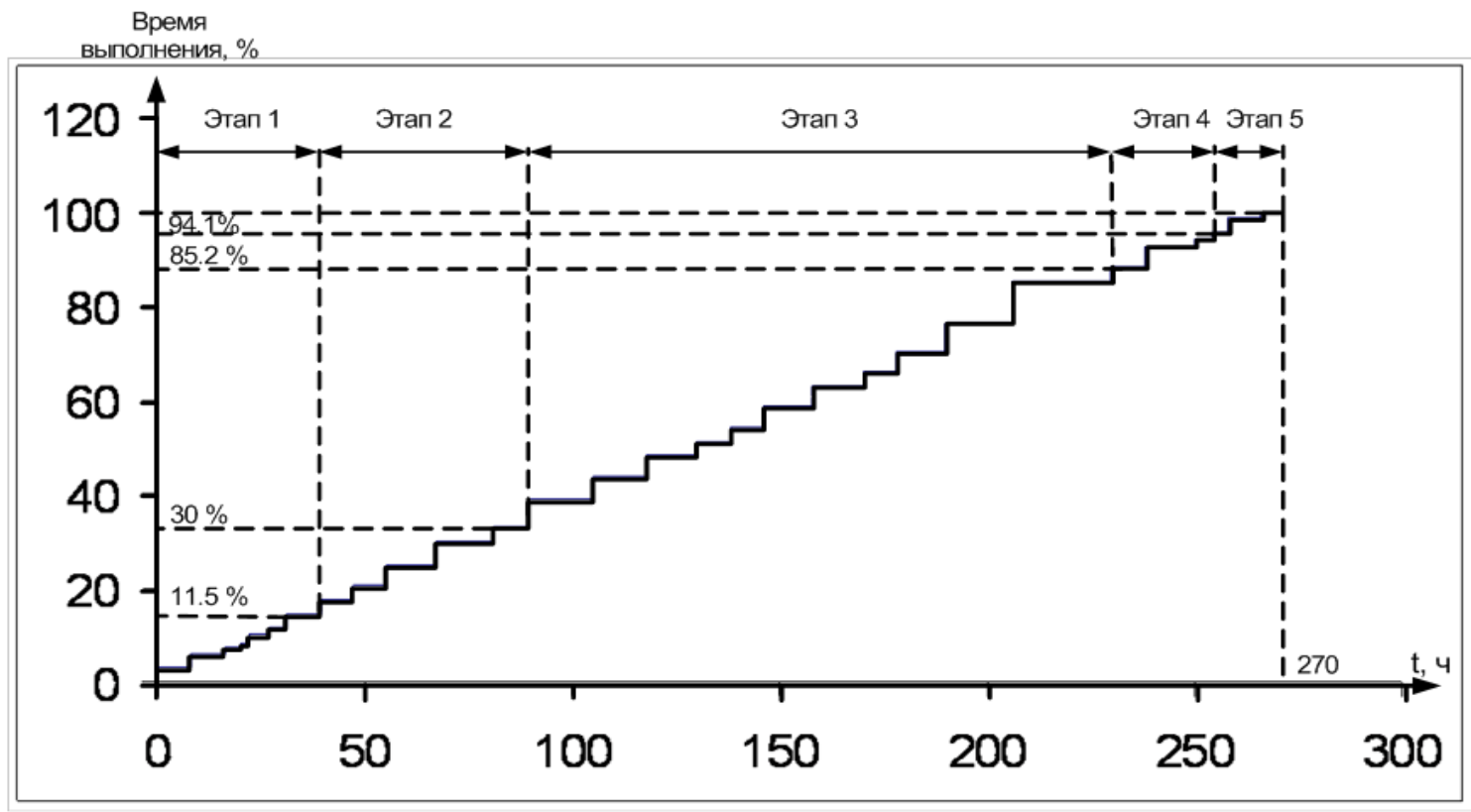












- Инженер-наладчик-
- Электромонтёр 6-го разряда-
- Электромонтёр 5-го разряда-
- Электромонтёр 4-го разряда-