

**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 маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана</b>

УДК 62-83-52:621.967.2:621.771.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА2	Рахманов Хасан Эркин угли		

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

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

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА2	Рахманову Хасану Эркин угли

Тема работы:

**Регулируемый электропривод маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана**

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 документации
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода; синтез и анализ нелинейной САУ РЭП; расчет статических и динамических характеристик, принципиальная электрическая схема, защита и сигнализация

	социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>- схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	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	Рахманов Хасан Эркин угли		05.04.2018г.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Произвести проверочный расчет электропривода маятниковых ножниц удовлетворяющего следующим заданным условиям и требованиям:

1. Напряжение питающей сети переменного трехфазного тока  $U_c=10\text{кВ}$  с частотой  $f_c=50\text{Гц}$ ;
2. Отклонение напряжения питающей сети от номинального значения  $\pm 10\%$ ;
3. Нагрузка реактивная;
4. Режим работы – кратковременный;
5. Диапазон регулирования не менее 5;
6. Управление электроприводом - ручное с поста оператора и с местного пульта, установленного рядом с ножницами;
7. Работа электропривода должны осуществляться в режиме стабилизации скорости (РЭП), а торможение в режиме слежения (СЭП) - для точной остановки;
8. Рез металла должен осуществляться в пределах располагаемого угла положения маятника, и на время цикла угол поворота эксцентрикового вала не должен превышать  $360^\circ$ ;
9. РЭП должен обеспечить поддержание заданной частоты вращения с погрешностью не более  $5\%$  на верхней скорости;
10. Время отработки цикла с металлом не более  $2\text{ с}$ ;
11. Время возврата ножей маятниковых ножниц в исходное состояние в следящем режиме не более  $0.5\text{ с}$ ;
12. Максимальное напряжение управления  $U_y=\pm 10\text{В}$ ;
13. Электродвигатель должен иметь большую перегрузочную способность, обеспечивающая работу привода при кратковременных нагрузках;
14. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания;

15. Выбранный электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, влажности и запыленности и иметь закрытое исполнение;

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 125 страницы текста, 30 рисунка, 26 таблицу, 1 приложение, 31 использованных источников.

ЭЛЕКТРОПРИВОД, МАЯТНИКОВЫЕ НОЖНИЦЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ОПТИМИЗАЦИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Цель работы - разработка и исследование электропривода маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана обжимного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

В проектно-пояснительной части описан технологический процесс участка непрерывно-заготовочного стана, где установлены маятниковые ножницы, технологический процесс самих ножниц, приведена кинематическая схема, а также обоснование выбора и описание функциональной схемы. Построены электромеханические характеристики электропривода, определена область существования характеристик, рассчитаны переходные процессы в нелинейной САУ с дискретным преобразователем.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода. Составлена смета на проведение ПНР и график проведения ПНР.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства. Произведен расчет искусственного заземления.

<b>Содержание</b>	
ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ	4
РЕФЕРАТ	6
Введение	10
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ	13
1.1 Технологический процесс участка	13
1.2 Кинематическая схема маятниковых ножниц	14
1.3 Оценка и анализ вариантов исполнения электропривода	16
1.4 Обоснование функциональной схемы привода. Выбор основных элементов	19
2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	23
2.1 Выбор электродвигателя	23
2.2 Элементы силового оборудования маятниковых ножниц	29
2.2.1 Выбор тиристорного преобразователя цепи якоря	30
2.2.2 Расчет параметров якорной цепи	34
2.2.3 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик ЭП	35
2.2.4 Выбор тиристорного преобразователя цепи возбуждения	38
2.2.5 Расчет параметров цепи возбуждения двигателя	40
2.3 Расчет электромеханических характеристик реверсивного тиристорного преобразователя	42
2.4 Структурная схема силового канала САУ	45
2.5 Синтез линеаризованной структуры САУ	48
2.5.1 Линеаризованная структура САУ маятниковых ножниц	49
2.5.2 Оптимизация контура тока	51
2.5.3 Оптимизация контура ЭДС	54
2.5.4 Оптимизация контура положения	60
2.5.5 Настройка контура тока возбуждения двигателя САУ	63
2.6 Переходные процессы в нелинейной САУ	66
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	77
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	78

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	79
3.1.1 Коммерческий потенциал проекта	79
3.1.2 SWOT-анализ проекта	79
3.1.3 Анализ конкурентных технических решений	83
3.2 Планирование проектных и пуско-наладочных работ	85
3.2.1 Планирование проектных работ	85
3.2.2 Планирование пуско-наладочных работ	87
3.3 Расчет бюджета проекта по внедрению частотного электропривода	91
3.3.1 Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)	91
3.3.2 Заработная плата персонала	92
3.3.3 Расчет амортизационных отчислений	94
3.3.4 Затраты на эксплуатацию и текущий ремонт	95
3.3.5 Общая сумма эксплуатационных расходов	95
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности проекта	95
3.4.1 Интегральный финансовый показатель	96
3.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	96
3.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	97
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	100
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	102
4.1 Производственная безопасность	102
4.2 Экологическая безопасность	105
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	106
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
THE CONCLUSION	113
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	114
ПРИЛОЖЕНИЕ А	117

## Введение

Черная металлургия является одной из важнейших отраслей промышленности. Высокая механическая прочность и стойкость черных металлов, легкость их обработки сравнительно с другими металлами, простота получения и большие природные запасы железной руды обусловили самое широкое применение стали и чугуна, как основных исходных материалов в машиностроении, станкостроении, электропромышленности, судостроении и других отраслях промышленности, а также в сельском хозяйстве, строительстве, транспорте и в быту. Из чугуна и стали изготавливают станки, производственные и сельскохозяйственные машины, метизы (болты, гайки, гвозди, тросы) и другие изделия. Широко применяется профильная сталь, получаемая путем прокатки.

Прокатка является основным видом обработки металлов давлением. Около 75% стали выплавляемой на металлургических заводах, обрабатываются на прокатных станах и выпускается в виде готового проката: листов, сортовых профилей, труб и т.п. (остальная часть 25% предназначена для производства стальных фасонных отливок и кузнечных слитков).

Из всех реверсивных станов горячей прокатки в нашей стране наибольшее значение в прокатном производстве имеют обжимные станы (блюминги).

Блюминг -(англ. blooming)-мощный прокатный стан, предназначенный для обжатия тяжелых стальных слитков в квадратные заготовки(блюмы). Используется также для прокатки прямоугольной плоской заготовки, идущей на производство листовой стали - слябов.

Современный прокатный стан характеризуется высоким уровнем производительности, механизацией трудоемких работ и автоматизацией основных технологических процессов. Рост производительности прокатных станов и вспомогательных механизмов, повышение качества продукции, достижение высоких скоростей прокатки и интенсификация обжатия стали возможны в результате развития и широкого внедрения в прокатное

производство современных систем электропривода и автоматики. Современные прокатные станы и механизмы представляют пример тесной взаимосвязи элементов конструкций, технологического процесса и автоматизированного электропривода. В настоящее время основным средством для приведения в движение рабочего органа машины и управления ее технологическим процессом, является электромеханическое устройство, называемое электроприводом. Ни одно из металлургических предприятий не может обойтись без современных электроприводов, неразрывно связанных с повышением эффективности технологических процессов.

Большой диапазон регулирования скорости, высокая скорость позиционирования - вот чем характеризуется современный промышленный электропривод. Поэтому к нему предъявляются очень высокие требования по надежности и производительности. Многообразие технологических требований к характеру и качеству механического движения с одной стороны обеспечило прогресс в области развития теории и практики электропривода, а с другой стороны - разнообразие систем электропривода: от массового, для объектов с относительно простыми движениями, до специальных объектов со сложными и точными движениями.

Вданном дипломном проекте представлен расчет электропривода маятниковых ножниц непрерывно – заготовочного стана обжимного цеха Западно-Сибирского металлургического комбината.

Идея создания второго крупного завода рядом с Кузнецким металлургическим комбинатом возникла еще в годы первых пятилеток, но только в 1950 году появилась возможность вернуться к вопросу о строительстве завода. В 1957 году правительством было утверждено проектное задание на строительство Западно-Сибирского металлургического завода.

В 1963 году первый объект строящегося гиганта - коксовая батарея вступила в строй действующих, а в 1964 году был получен первый чугун.

В последующие годы на ЗСМК был построен ряд крупных объектов, поэтому, учитывая сложную структуру и комбинированный характер производства, приказом Министерства черной металлургии СССР от 30 июня

1983 года завод реорганизован в Западно-Сибирский металлургический комбинат.

Все цеха комбината можно сгруппировать по основным производствам:

- коксохимическое производство;
- агломерационно-известковое производство;
- доменное производство;
- сталеплавильное производство;
- сталепрокатное производство;
- ремонтная база комбината;
- транспорт.

Целью выпускной квалификационной работы является расчет электропривода маятниковых ножниц непрерывно – заготовочного стана обжимного цеха Западно-Сибирского металлургического комбината.

# 1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Технологический процесс участка

Непрерывно-заготовочный стан 850/730/580 служит для прокатки, без дополнительного прогрева блюмов с размерами сечений  $350 \times 350 \div 370 \times 370$  мм, в заготовки размерами сечений  $120 \times 200$ ;  $150 \times 200$ ;  $150 \times 150$  мм на I-ой группе клетей и размерами сечений  $125 \times 125$ ;  $100 \times 100$ ;  $80 \times 80$  мм на II-ой группе клетей. Прокат производится следующих марок стали: углеродистых (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.

В I-ой группе после прокатки в клетях «А» и «1», раскат кантуется на 90 град. кантователем и проходит последовательно клетях «В», «2», «3», «4», «5», «6» (клетях «3» и «5» - вертикальные, остальные горизонтальные). Полученный раскат сечением  $150 \times 150$  мм,  $150 \times 200$  мм,  $165 \times 200$  мм шлепперным устройством подается на обводную линию и транспортируется рольгангами номер 5, 6, 7 и 8 к летучим ножницам «400тн» для порезки на заготовки длиной 4-12 м при скорости движения раската 2,32,5 м/сек и обрезки переднего и заднего концов раската длиной 150-300 мм.

После I-ой (черновой) группы клетей, заготовки, предназначенные для дальнейшего переката на квадрат  $80 \times 80$  мм или  $100 \times 100$  мм, транспортируются по рольгангу ко II-ой группе клетей: «С», «D», «7», «8», «9», «10», перед которой, в случае необходимости, происходит обрезка концов на маятниковых ножницах.

После прокатки раскат разрезается барабанными ножницами «150тн» на заготовки длиной 10500 – 11800 мм, которые клеймятся в торец клеймовочным

устройством, собираются в пакеты на пакетирующем рольганге II-ой группы с косорасположенными роликами и транспортируются по рольгангам на холодильники склада.

## **1.2 Кинематическая схема маятниковых ножниц**

Маятниковые ножницы предназначены для зачистки головной и донной части раската на ходу или с остановкой, а также для аварийного отрезания части раската на ходу при нарушении технологического режима в чистовой группе клетей.

Привод маятниковых ножниц – редукторный однодвигательный. Кинематическая схема ножниц приведена на рисунке 1.

Конструктивно маятниковые ножницы представляют собой маятник, свободно подвешенный вместе с шатуном на эксцентриковом валу. Ножи установлены в одной плоскости на маятнике и шатуне.

В исходном положении маятник отклонен от вертикальной оси в сторону , противоположную движению проката на угол 11 град.37 мин.

При порезке проката на ходу ножи закусывают металл и, совершая рез, движутся вместе с металлом. Максимальный угол отклонения маятника от исходного положения составляет 24 град. 49 мин.

Конструкция ножниц предъявляет высокие требования к быстродействию привода. Он должен обеспечить быстрый разгон, высокую установившуюся скорость и интенсивное торможение.

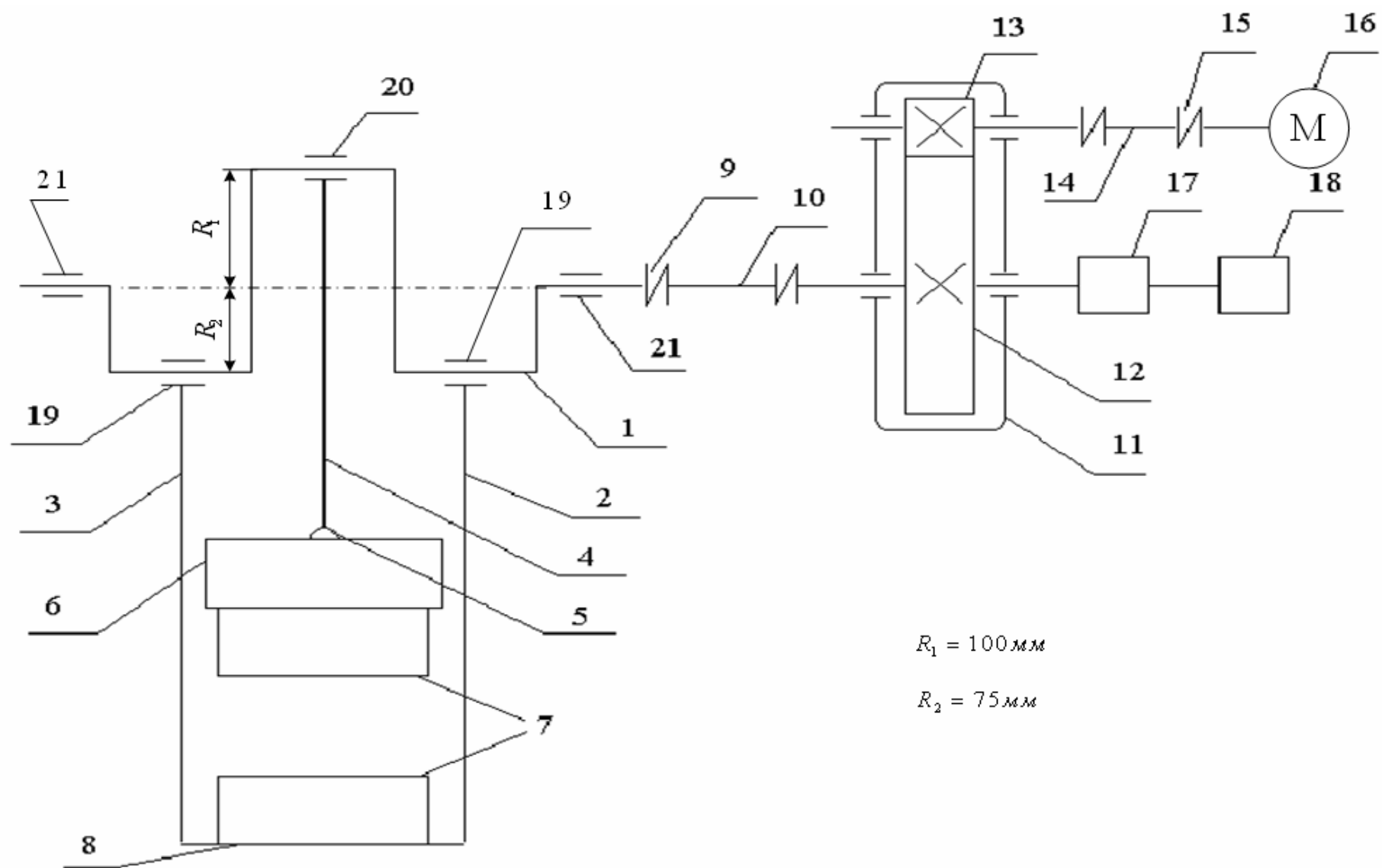


Рисунок 1-Кинематическая схема маятниковых ножниц

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

- 1 – вал;
- 2 – боковина левая;
- 3 – боковина правая;
- 4 – шатун;
- 5 – ось;
- 6 – верхний суппорт;
- 7 – нож;
- 8 – нижний суппорт;
- 9, 15 – муфта зубчатая МЗ-16;
- 10 – вал промежуточный;
- 11 – редуктор  $i = 3.18$ ;
- 12 – вал шестерня  $z=140$ ;
- 13 – колесо зубчатое  $z =44$ ;
- 14 – вал промежуточный;
- 16 – электродвигатель;
- 17 – командоаппарат;
- 18 – сельсин;
- 19,20,21 – подшипники.

### **1.3 Оценка и анализ вариантов исполнения электропривода**

Выбор рода тока и типа электропривода производится с учетом целого ряда условий, предъявленных к режиму работы и управлению исполнительным механизмом.

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

Двигатель постоянного тока обладает следующими преимуществами:

- более высокая перегрузочная способность, достигающая  $2,5 \div 4$  кратной величины (у асинхронных двигателей она не превышает  $2 \div 2,5$  кратной величины);
- меньший момент инерции;
- мягкая механическая характеристика, которая дает более короткое время разгона механизма и двигатель легче переносит толчки нагрузки;
- электрическое торможение двигателей постоянного тока осуществляется проще и дает лучшие результаты, чем торможение асинхронного двигателя;
- допускает регулирование скорости в широких пределах;
- аппаратура управления на постоянном токе проще и надежнее в действии, чем аппаратура управления на переменном токе.

Для выбора системы электропривода проведём сравнительный анализ систем, использующихся для питания двигателя постоянного тока. Для питания электродвигателя в регулируемом электроприводе постоянного тока, в настоящее время, могут применяться следующие системы преобразовательных устройств:

- генератор – двигатель;
- транзисторный преобразователь – двигатель;
- тиристорный преобразователь – двигатель;

Кратко рассмотрим их достоинства и недостатки и выберем наиболее приемлемый управляемый выпрямитель.

Основными достоинствами системы генератор – двигатель (Г—Д) являются большой диапазон и плавность регулирования скорости двигателя, высокая жесткость и линейность характеристик, возможность получения всех энергетических режимов работы, в том числе и рекуперативного торможения, возможно большая установленная мощность электрических машин. В тоже время для нее характерны такие недостатки, как утроенная установленная мощность системы, более низкий КПД, инерционность процесса регулирования

скорости, большие габариты и шум при работе. Кроме того, эта система требует большого количества коммутационной аппаратуры.

Применение системы транзисторный преобразователь – двигатель ограничено мощностью элементной базы (транзисторов). Появившиеся новые поколения транзисторов IGBT и MOSFET принципиально позволяют создать электропривод большой мощности, однако в настоящее время в России они серийно не выпускаются.

К достоинствам системы тиристорный преобразователь – двигатель (ТП-Д) относятся: плавность и значительный диапазон регулирования скорости (более 10 в замкнутых ЭП), большая жесткость получаемых характеристик, высокий КПД преобразователя (до 0,98%), меньшая мощность установленного оборудования, отсутствие подвижных частей, меньшие габариты, бесшумность в работе, высокий уровень автоматизации, простота в обслуживании и эксплуатации, большой срок службы. При этом этой системе присущи и недостатки: преобразователь обладает односторонней проводимостью и для получения характеристик в четырех квадрантах необходимо использовать двухкомплектный преобразователь; напряжение на якоре и ток имеют пульсирующий характер, что ухудшает условия работы двигателя и требует применения сглаживающих реакторов или более сложных многофазных схем выпрямления; работа УВ характеризуется режимом прерывистого тока, при котором резко падает жесткость характеристик привода и они становятся нелинейными; тиристорные преобразователи обладают малой перегрузочной способностью по току и напряжению.

Несмотря на отмеченные недостатки, система ТП – Д является высокоэффективным регулируемым ЭП постоянного тока и широко применяется для привода таких ответственных рабочих машин, как прокатные станы, металлорежущие станки и др.

Сопоставив возможные варианты реализации системы «преобразователь – двигатель», их достоинств и недостатков, приходим к выводу о необходимости применения в качестве электропривода маятниковых ножниц тиристорного электропривода постоянного тока.

В нашем случае в качестве электропривода маятниковых ножниц применен комплектный тиристорный электропривод постоянного тока серии КТЭ.

#### **1.4 Обоснование функциональной схемы привода. Выбор основных элементов**

Наибольшее применение в металлургической промышленности в настоящее время находит автоматизированный электропривод постоянного тока с замкнутой системой регулирования.

На рисунке 2 представлена функциональная схема автоматизированного тиристорного реверсивного электропривода постоянного тока маятниковых ножниц. Рассмотрим основные элементы схемы и их назначения.

Электродвигатель М независимого возбуждения получает питание от реверсивного тиристорного преобразователя ТПЯ, который питается от трехфазной сети через масляный выключатель ВМ и трансформатор Т1.

Силовой тиристорный блок преобразователя выполнен с отдельным управлением двумя группами вентилей, включенных по мостовой схеме выпрямления.

Сглаживающий дроссель L, включенный в якорную цепь позволяет ограничить величину переменных составляющих и, тем самым, улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики. Выключатель В защищает двигатель М от токов короткого замыкания и недопустимой перегрузки.

Система автоматического регулирования (САР) представляет собой двухконтурную систему подчиненного регулирования скорости с отрицательными обратными связями по ЭДС и току двигателя. Для обеспечения точности останова ножниц при угле поворота эксцентрикового вала 290 градусов от путевого выключателя, установленного на валу механизма, отключается сигнал задания скорости и включается обратная связь по положению. Сигналом задания скорости в этом режиме, является сигнал

регулятора положения. В качестве датчика положения используется сельсин. Ножницы остановятся при повороте вала механизма на 360градусов.

Сигнал задания скорости, который формируется в начале каждого реза, имеет форму скачка. Для ограничения ускорения привода на входе регулятора ЭДС РЭ установлен задатчик интенсивности ЗИ, который формирует линейноизмеряющийся сигнал задания скорости.

В качестве датчика тока якоря ДТЯ используются трансформаторы тока, которые установлены во вторичной цепи питающего трансформатора.

По этой причине датчик тока является нереверсивным, что требует применения знакопереключающих устройств в контуре тока реверсивного электропривода.

При раздельном управлении группы вентиля работают раздельно, поэтому для их переключения необходимо логическое переключающее устройство ЛПУ и датчик нулевого тока ДНТ.

Сигналы задания скорости, обратной связи по току и заданного значения производной по скорости ( $dn/dt$ -ускорение) поступает на вход устройства ССТ - формирователя сигнала стоянки. При наличии любого из перечисленных выше сигналов управления, превышающих пороговое значение на входе ССТ появляется положительное напряжение, которое поступает на управление ключами, установленных в цепи регулирования уровня ограничения ССТ или блокировки, а также для блокировки РТ. То есть на ССТ устанавливается необходимый уровень ограничения

Обмотка возбуждения двигателя получает питание от своего тиристорного преобразователя, предназначенного для стабилизации номинального тока возбуждения. Система регулирования представляет собой одноконтурную систему регулирования тока возбуждения.

На функциональной схеме приняты следующие обозначения:

ВК1 - ВК4 – бесконтактный ключ;

ПУ1 – ПУ3 – промежуточный усилитель;

ЗИ – задатчик интенсивности скорости;

РЭ – регулятор ЭДС.;

РП – регулятор положения;  
ФВУ – фазовый выпрямитель–усилитель;  
РГ1, РГ2 – гальваническая развязка;  
ДЭ - датчик ЭДС;  
РТЯ – регулятор тока якоря;  
РСУ – реверсор сигнала управления;  
СУ – согласующее устройство;  
СИФУ – система импульсно – фазового управления;  
ЛПУ – логическое переключающее устройство;  
ДТЯ – датчик тока якоря;  
ДНТ – датчик нулевого тока;  
ЗПТя – защита от превышения тока якоря;  
УБЛ – усилитель блока логики;  
ФТЯ – формирователь тока якоря;  
Т1 – силовой трансформатор преобразователя якоря;  
ТТЯ – трансформатор тока якоря;  
ТПЯ – тиристорный преобразователь цепи якоря;  
В – выключатель автоматической цепи якоря;  
М – двигатель;  
СД – сельсин-датчик;  
LM – обмотка возбуждения двигателя;  
ТПВ – тиристорный преобразователь обмотки возбуждения;  
ТТВ – трансформатор тока обмотки возбуждения;  
ДТВ – датчик тока возбуждения;  
ЗТВ – защита от превышения тока возбуждения;  
РТВ – регулятор тока возбуждения.

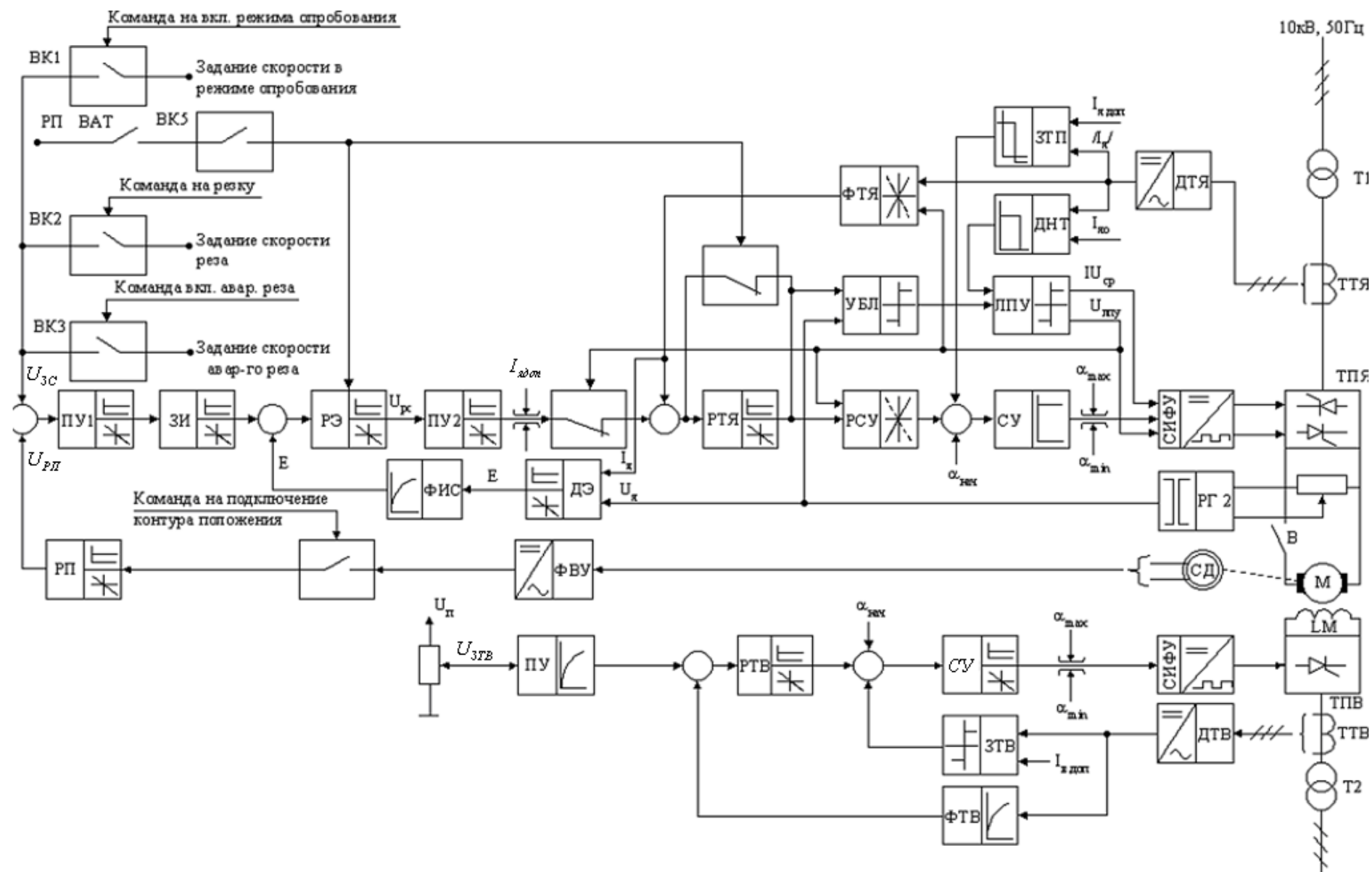


Рисунок 2-Функциональная схема электропривода маятниковых ножниц

## 2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Выбор электродвигателя

Проверку и расчет электродвигателя по мощности, скорости и техническим условиям произведем по методике, изложенной в [ 3 ].

Основные технические параметры механизма:

1	Разрезаемый металл – углеродистая и низколегированная сталь:	
	– предел прочности в холодном состоянии	100.8 кг/мм <sup>2</sup>
	– предел текучести в холодном состоянии	58.5 кг/мм <sup>2</sup>
2	Температура разрезаемого металла	1050°С
3	Усилие резания, максимальное	200 тонн
4	Ход верхнего ножа	200 мм
5	Ход нижнего ножа	150 мм
6	Наибольшее раскрытие ножей	340 мм
7	Перекрытие ножей	10 мм
8	Длина ножей	400 мм
9	Максимальная скорость раската	2.6 м/с
10	Скорость механизма	6.58 рад/с
11	Передаточное число редуктора	3.18
12	Момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя	$J_{\text{мех}} = 22.5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

Рассмотрим подробнее кинематику маятниковых ножниц (рисунок 1).

Приводной вал 10 ножниц имеет три эксцентрика (в виде шеек коленчатого вала). Два крайних эксцентрика относительно оси приводного вала имеют эксцентриситет 75 мм, на этих эксцентриках свободно на подшипниках подвешены два суппорта, жестко соединенные внизу поперечной траверсой таким образом, что эти два суппорта представляют собой один маятник, свободно подвешенный на два боковых эксцентрика. На нижней траверсе маятника закреплен нижний нож. Средний эксцентрик относительно оси приводного вала имеет эксцентриситет 100 мм, на этом эксцентрике подвешен

шатуна 4, шарнирно соединенный с верхним суппортом, последний может перемещаться только по боковым направляющим нижнего суппорта.

Так как два крайних эксцентрика смещены на 180 град. по отношению к среднему, то при повороте приводного вала на 180 град. Верхний суппорт пойдет вниз и нож опустится на 200 мм, а нижний суппорт будет перемещаться вверх и его нож поднимется на 150 мм из крайнего нижнего положения. При таком встречном движении ножей произойдет резание заготовки, находящейся между ними. Таким образом, ход ножей будет равен 350 мм, а так как после резания предусмотрено перекрытие ножей, равное 10 мм, то раскрытие ножей в исходном положении будет 340 мм. Поскольку заготовка движется по рольгангу непрерывно, то при захвате металла ножами, маятник, свободно подвешенный на боковых эксцентриках, будет отклоняться движущейся заготовкой вправо, вместе с ним будет отклоняться вправо и верхний суппорт. Для облегчения и ускорения возврата маятника в исходное положение предусмотрено специальное гидравлическое устройство.

Для предварительного выбора приводного электродвигателя ножниц определим максимальный момент реза, приведенный к валу двигателя, при усилии 200 т.

$$M_{\text{дв. макс. расч.}} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot g \cdot R_1 + 200 \cdot 10^3 \cdot g \cdot R_2}{i_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{пер}}} =$$

$$= \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,1 + 200 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,075}{3,18 \cdot 0,9} = 119968,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $\eta_{\text{пер}} = 0,9$  – к.п.д. механизма ножниц.

Расчетная скорость электродвигателя

$$\omega_{\text{дв. расч}} = \omega_{\text{мех}} \cdot i = 6,58 \cdot 3,18 = 20,924 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

где  $i = 3,18$  – передаточное число редуктора, или

$$n_{\text{дв. расч}} = \frac{\omega_{\text{дв. расч}} \cdot 30}{\pi} = \frac{20,924 \cdot 30}{\pi} = 199,81 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

По найденным расчетным значениям максимального момента и скорости предварительно выбираем двигатель постоянного тока типа П2-800-177-8У 4

спараметрами: мощность 1120 кВт, номинальная скорость 200 об/мин., перегрузка по току рабочая  $\lambda = 2.25$ .

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{1120000}{20.9} = 53588 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

где  $\omega_{\text{НОМ}} = \pi \cdot 200 / 30 = 20,9 \text{ рад/с}$ .

Максимальный момент двигателя

$$M_{\text{макс}} = \lambda \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,25 \cdot 53588 = 120573 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

что обеспечивает условие  $M_{\text{макс}} > M_{\text{дв.макс.расч.}}$ .

Проверим двигатель в режиме реза заданных сечений раската

Максимальное усилие резания заготовки  $165 \times 200 \text{ мм}$  [2]

$$\begin{aligned} F_{\text{макс}} &= K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \delta_B \cdot F = \\ &= 0.7 \cdot 1.2 \cdot 1.25 \cdot 60 \cdot 14850 = 935550 \text{ кН}, \end{aligned}$$

где  $K_1 = \frac{\tau_{\text{макс}}}{\delta_g} = 0.6 \div 0.7$  - коэффициент, равный отношению максимального сопротивления срезу к пределу прочности;

$K_2 = 1.1 \div 1.2$  - коэффициент, учитывающий увеличение усилия резания при затуплении ножей в процессе длительной работы ножниц;

$K_3 = 1.15 \div 1.25$  то же, при увеличении бокового зазора между ножами;

$\delta_B = 60 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$  - предел прочности металла при  $t = 1100-1200^\circ\text{C}$ ;

$S = d \cdot h \cdot (1 - \epsilon_B) = 165 \cdot 200 \cdot (1 - 0.55) = 14850 \text{ мм}^2$  - сечение металла

( $\epsilon_B = 0.55$  - относительного коэффициент вмятия).

Максимальный момент резания

$$M_{\text{рез}} = F_{\text{макс}} \cdot (R_1 + R_2) = 935550 \cdot (0,1 + 0,075) = 163721,25 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальная мощность в момент реза

$$P_{\text{макс}} = M_{\text{рез}} \cdot \omega_{\text{мех}} = 163721,25 \cdot 6.58 = 1077285,825 \text{ Вт},$$

где  $\omega_{\text{мех}} = 6.58 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  - скорость механизма.

Максимальная мощность двигателя в момент реза

$$P_{\text{дв.расч}} = \frac{P_{\text{макс}}}{\eta} = \frac{1077285,825}{0.9} = 1196984,25 \text{ Вт},$$

где  $\eta = 0.9$  – КПД механизма.

Максимальный момент резания, приведенный к валу двигателя

$$M_{\text{рез.пр}} = \frac{M_{\text{рез}}}{i \cdot \eta} = \frac{163721,25}{3.18 \cdot 0.9} = 57205,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коэффициент перегрузки двигателя по моменту в момент реза

$$k_{M_{\text{расч}}} = \frac{M_{\text{рез.пр.}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{57205,2}{53588} = 1,0675$$

Двигатель при резе раската с максимальным сечением  $165 \times 200$  мм не перегружен.

Проверку двигателя на нагрев не проводим, так как время одного реза мало.

Окончательно выбираем двигатель типа П2-800-177-8У4. Паспортные и расчетные данные на двигатель приведены в таблице 1.

Таблица 1- Параметры электродвигателя типа П2-800-177-8У4

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3	4
Паспортные параметры двигателя			
Номинальная мощность	$P_{\text{н}}$	кВт	1120
Номинальная скорость	$n_{\text{н}}$	об/мин	200
Максимальная скорость	$n_{\text{max}}$	об/мин	400
Номинальное напряжение	$U_{\text{н}}$	В	700

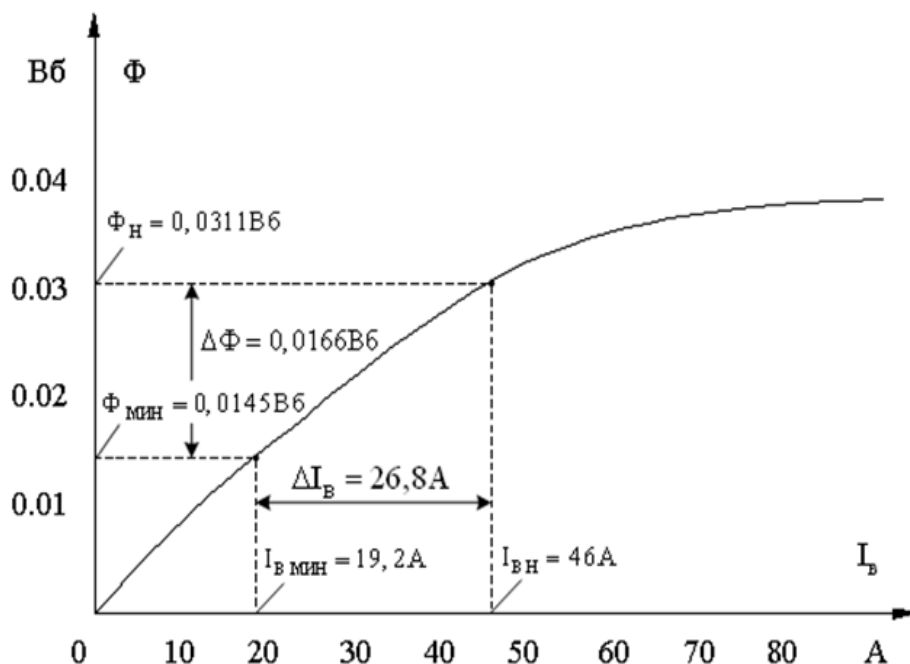
Продолжение таблицы 1

	2	3	4
Номинальный ток	$I_H$	А	1725
Число параллельных ветвей обмоток якоря	2а	-	6
Число полюсов	2р	-	6
Сопротивление обмотки якоря	$R_я$	Ом	0.01175
Сопротивление компенсационной обмотки	$R_{ко}$	Ом	0.00514
Сопротивление дополнительных полюсов	$R_{дп}$	Ом	0.00219
Ном. ток возбуждения	$I_{вн}$	А	46
Сопротивление обмотки возбуждения	$R_{ов}$	Ом	2.56
Число витков обмотки возбуждения	$W_в$	—	315
Перегрузка по току рабочая	$\lambda$	--	2.25
Поток одного полюса	$\Phi_H$	Вб	0.0311
Момент инерции	$J_{дв}$	кг·м <sup>2</sup>	750
Расчетные параметры двигателя			
Сопротивление якорной цепи двигателя	$R_{дв} = R_я + R_{дп} + R_{ко}$	Ом	0.01908
Температурный коэффициент	$b = 1 + 0.004 \cdot \Delta t$	--	1.38

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Сопротивление якорной цепи двигателя при рабочей температуре	$R_{дв.гор} = 1.38 \cdot R_{дв}$	Ом	0.0263
Угловая скорость двигателя номинальная	$\omega_{дв.н} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30}$	$\frac{рад}{с}$	20.9
Индуктивность цепи якоря двигателя, где $\gamma = 0.3 \div 0.4$ – для двигателей с компенсационной обмоткой, принимаем $\gamma = 0.3$ .	$L_{дв} = \gamma \cdot \frac{U_{дв.н}}{p \cdot I_{дв.н} \cdot \omega_{дв.н}}$	мГн	0.647
Коэффициент ЭДС двигателя, при $\Delta U_{щ} = 2 В$	$c = \frac{U_{дв.н} - I_{дв.н} \cdot R_{дв.гор}}{\omega_{дв.н}}$	$\frac{В \cdot с}{рад}$	31.4
Максимальный ток	$I_{дв.макс} = 2.25 \cdot I_{н}$	А	3880
Сопротивление обмотки возбуждения при рабочей температуре	$R_B = 1.38 \cdot R_{об}$	Ом	3.53
Напряжение возбуждения двигателя, В	$U_B = R_B \cdot I_{вн}$	В	162.38
Индуктивности пот. возбужд., где $\Delta \Phi = 0.0166 Вб$ и $\Delta I_B = 26.8 А$ – рисунок 3.	$L_\epsilon = 2p \cdot W_\epsilon \cdot \frac{\Delta \Phi_\epsilon}{\Delta I_{вн}}$	Гн	1.17
Индуктивности потока рассеивания	$L_s = 2p \cdot W_B \cdot \frac{\Phi_\epsilon}{I_{вн}} \cdot \frac{(\sigma - 1)}{\Gamma_\epsilon}$	Гн	0.23

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 3.



$I_{\text{в}}, \text{ А}$	0	10	19,2	25	35	46	70
$\Phi, \text{ Вб}$	0	0,009	0,0145	0,019	0,025	0,0311	0,035

Рисунок 3 – Кривая намагничивания двигателя

## 2.2 Элементы силового оборудования маятниковых ножниц

Питание якорной цепи двигателя П2-800 реализуется от реверсивного тиристорного преобразователя типа КТЭ. В тиристорном преобразователе применяется трехфазная мостовая схема выпрямления с отдельным управлением тиристорными группами «ВПЕРЕД» и «НАЗАД». Питание обмотки возбуждения двигателя осуществляется от нереверсивного тиристорного преобразователя типа КТЭ, собранного по трехфазной мостовой схеме выпрямления. Подключение тиристорного преобразователя обмотки возбуждения к силовой сети 380 В, 50 Гц осуществляется через трансформатор и автоматический выключатель, входящий в состав КТЭ.

На рисунке 4 приведена упрощённая принципиальная электрическая схема силовой электрической цепи электропривода ножниц.

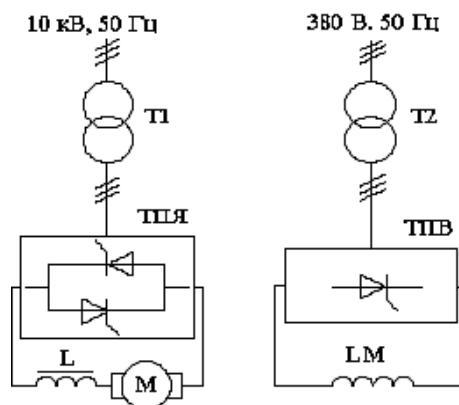


Рисунок 4 - Схема электрическая принципиальная упрощённая

На рисунке 4 приняты следующие обозначения:

- T1 – силовой трансформатор якорной цепи;
- T2 – силовой трансформатор цепи возбуждения;
- TПЯ – тиристорный преобразователь якорной цепи;
- TПВ – тиристорный преобразователь цепи возбуждения;
- M – двигатель постоянного тока;
- LM – обмотка возбуждения;
- L – сглаживающий реактор.

### 2.2.1 Выбор тиристорного преобразователя цепи якоря

Выбираем комплектный электропривод серии КТЭ по следующим параметрам [ 9 ]:

- номинальное выпрямленное напряжение должно быть не менее номинального напряжения двигателя

$$U_{дн} \geq U_{дв.н};$$

- номинальный ток преобразователя должен быть равен или больше номинального тока двигателя

$$I_{дн} \geq I_{дв.н}.$$

Поскольку коэффициенты перегрузки по току преобразователя КТЭ ( $\lambda_{тп} = 2.25$ ) и двигателя равны, выбираем комплектный электропривод типа КТЭ-

1600/930E-100-04-00000-УХЛ4: реверсивный , с отдельным управлением группами клапанов, с естественным охлаждением [ 9 ].

Преобразователь имеет следующие технические данные:

- номинальное выпрямленное напряжение преобразователя

$$U_{дн.} = 930 \text{ В};$$

- номинальный выпрямленный ток

$$I_{дн.} = 1600 \text{ А};$$

- максимальное значение тока преобразователя длительностью 10 с

$$I_{д.макс} = 2.25 \cdot I_{дн} = 3600 \text{ А};$$

- управление преобразователем отдельное;
- схема выпрямления 6-ти импульсная Ларионова.

Для питания силовой цепи реверсивного тиристорного преобразователя, выполненного по трехфазной мостовой встречно-параллельной схеме выпрямления выбираем специальный преобразовательный согласующий трансформатор в соответствии с параметрами тиристорного преобразователя [ 8 ].

Для электропривода ножниц применен сухой силовой трансформатор типа ТСЗП-1000/10-УЗ ( трехфазный , естественное воздушное охлаждение, защищенное исполнение , для питания тиристорных преобразователей , выполненных по мостовой схеме выпрямления).

Справочные параметры трансформатора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры трансформатора ТСЗП-1000/10УЗ

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3	4
Мощность	$P_1$	КВА	938
Первичное напряжение	$U_1$	В	I – 6000 II – 10000
Вторичное напряжение	$U_{2л}$	В	718
Выпрямленное напряжение	$U_{дн}$	В	825

Продолжение таблицы 2

	2	3	4
Ном. ток вторичной обмотки	$I_2$	А	755
Выпрямленный ток	$I_{дн}$	А	930
Напряжение короткого замыкания	$U_{кз}$	%	6
Группа соединений	--	-	$\Delta/Y - 6$
Потери короткого замыкания	$P_{кз}$	Вт	15400

Расчетные параметры трансформатора.

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$Z_{тр.ф} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{2ф}}{100 \cdot I_{2фн}} = \frac{6 \cdot 718 / \sqrt{3}}{100 \cdot 755} = 0.0329 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$R_{тр.ф} = \frac{P_{кз}}{m_2 \cdot I_{2фн}^2} = \frac{15400}{3 \cdot 755^2} = 0.009 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$X_{тр.ф} = \sqrt{Z_{тр.ф}^2 - R_{тр.ф}^2} = \sqrt{0.0329^2 - 0.009^2} = 0.0316 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки фазы трансформатора

$$L_{тр.ф} = \frac{X_{тр.ф}}{\omega_c} = \frac{0.0316}{314} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Выбор сглаживающего реактора.

При питании от ТП по двигателю помимо постоянной составляющей тока протекают переменные составляющие, величина которых зависит от угла управления и параметров нагрузки. Это приводит к повышению нагрева

двигателя, ухудшению условий коммутации и снижению жесткости механических характеристик в связи с расширением зоны прерывистых токов.

Включение сглаживающего реактора в якорную цепь позволяет ограничить величину переменных составляющих и, тем самым, улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики.

Индуктивность сглаживающего дросселя выбирается из условия уменьшения зоны прерывистого тока при отдельном управлении преобразователем до уровня минимального значения тока нагрузки  $0,1 \cdot I_{дв.н}$  и ограничения пульсаций тока двигателя до допустимых значений  $P(1)\% = 2 \div 7$ .

Номинальный ток реактора выбирается из условия

$$I_{др.н} \geq \frac{\lambda_{дв} \cdot I_{дв}}{2 \cdot \lambda_{др}} = \frac{2,25 \cdot 1725}{2 \cdot 2,0} = 970 \text{ А.}$$

Индуктивность якорной цепи из условия ограничения зоны прерывистых токов на уровне  $0,1 \cdot I_{дв.н}$

$$L_{кн1} = \frac{1}{\omega_c} \cdot k_{сп.макс} \cdot \frac{E_{d0}}{I_{d.сп}} = \frac{1}{314} \cdot 0,093 \cdot \frac{970}{172,5} = 0,0016 \text{ Гн,}$$

где при  $\alpha = 90^\circ$   $k_{сп.макс} = \left(1 - \frac{\pi}{m_g} \cdot ctg \frac{\pi}{m_g}\right) \cdot \sin \alpha = \left(1 - \frac{\pi}{6} \cdot ctg \frac{\pi}{6}\right) \cdot \sin 90^\circ = 0,093$ ;

$$I_{d.сп} < 0,1 \cdot I_{дв.н} = 0,1 \cdot 1725 = 172,5 \text{ А.}$$

Тогда индуктивность дросселя

$$L_{др1} = L_{кн1} - L_{тп} - L_{дв} = 0,0016 - 1 \cdot 10^{-3} - 0,000647 = 0,00047 \text{ Гн.}$$

Индуктивность якорной цепи из условия ограничения пульсаций тока на уровне 2%

$$L_{кн2} = \frac{E_{d(1)} \cdot 100}{m_B \cdot \omega_c \cdot P(1)\% \cdot I_{дн}} = \frac{235,8 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 3 \cdot 1725} = 0,024 \text{ Гн,}$$

где  $E_{d(1)} = \frac{E_{d0}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2 \cdot m_g}{(m_g^2 - 1)} = \frac{970}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2 \cdot 6}{(6^2 - 1)} = 235,8 \text{ В.}$

Тогда индуктивность дросселя

$$L_{др2} = L_{кн2} - L_{тп} - L_{дв} = 0,024 - 0,001 - 0,000647 = 0,00077 \text{ Гн.}$$

На основании расчетных параметров выбираем реактор серии ТРОС ,предназначенный для работы в цепях выпрямленного тока напряжением до 1050 В. Индуктивность реакторов этой серии сохраняется при любом токе. Параметры сглаживающего реактора представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Параметры реактора типа ТРОС-1600УХЛ4

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
Номинальный ток	$I_{p.n}$	А	2500
Индуктивность	$L_p$	мГн	0.8
Потери в дросселе	$\Delta P_p$	Вт	13600

Расчетные параметры сглаживающего реактора

Активное сопротивление обмотки реактора

$$R_p = \frac{\Delta P_p}{I_{p.n}^2} = \frac{13600}{2500^2} = 0,002128 \text{ Ом.}$$

### 2.2.2 Расчет параметров якорной цепи

Сопротивление силовой цепи преобразователя

$$R_{\text{ш}} = 2 \cdot R_{\text{тр.ф}} + R_k = 2 \cdot 0.009 + 0.03 = 0.048 \text{ Ом,}$$

где

$$R_k = \frac{m_b \cdot X_{\text{тр.ф}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0.0316}{2 \cdot \pi} = 0.03 \text{ Ом}$$

– сопротивление, вносимое за счет коммутации анодных токов.

Индуктивность силовой цепи преобразователя

$$L_{\text{ш}} = 2 \cdot L_{\text{тр.ф}} + L_p = 2 \cdot 0.1 \cdot 10^{-3} + 0.8 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Определим сопротивление силовой цепи двигателя

$$R_{\text{ц.дв}} = R_{\text{дв.гор}} + R_p + 0.1 \cdot R_{\text{дв.гор}} =$$

$$= 0.0263 + 0.002128 + 0.1 \cdot 0.0263 = 0.031 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление якорной цепи

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{тп}} + R_{\text{ц,дв}} = 0.048 + 0.031 = 0.079 \text{ Ом.}$$

Расчетное значение индуктивности силовой цепи

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + L_{\text{тп}} = 0.000647 + 0.001 = 0.001647 \text{ Гн.}$$

Электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = \frac{0.001647}{0.079} = 0.02085 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя

$$K_{\text{тп}} = K_{\text{yo}} \cdot \frac{\pi \cdot E d_0}{2 \cdot U_{\text{о.п.макс}}} = 0.475 \cdot \frac{\pi \cdot 970}{10} = 144.75,$$

где  $K_{\text{yo}}=0.475$  — коэффициент передачи согласующего устройства на входе СИФУ.

Постоянная времени тиристорного преобразователя

$$T_{\text{тп}} = \frac{0.5}{m_{\text{в}} \cdot t_{\text{с}}} = \frac{0.5}{6 \cdot 50} = 1.667 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

### 2.2.3 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик ЭП

Заданная область существования электромеханических характеристик ЭП (замкнутой системы), ограниченная значением  $\omega_{\text{ЭП.макс}}$  и  $I_{\text{ЭП.макс}} \leq I_{\text{дв.макс}}$ , принимаем  $I_{\text{ЭП.макс}} = 3600 \text{ А}$ , должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой системы преобразователь – двигатель. Выполнение этого условия требует значительного запаса по напряжению и мощности преобразователя и силового трансформатора. Поэтому такой подход может быть рекомендован только при проектировании ЭП, от которых требуется реализация предельных динамических возможностей исполнительных двигателей. В остальных случаях возможно без значительного

снижения быстродействия облегчить 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 расположена выше точки с координатами  $\omega = \omega_{ном}$  и  $I = I_{ном}$ , а при реверсировании ЭП, должно обеспечиваться безопасное инвертирование при допустимом токе двигателя.

На рис.5 приведена заданная область существования электромеханических характеристик ЭП, ограниченная значениями  $\omega_{ЭП.макс.} = 20.9$  рад/с и  $I_{ЭП.макс} = 3600$  А.

Определим предельные углы управления преобразователя.

Минимальный угол управления при  $I_{дв.н}$

$$\alpha_{мин} \leq \arccos \frac{c \cdot \omega_{дв.н} + I_{дв.н} \cdot R_{яц}}{K_{oc} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{31.4 \cdot 20.9 + 1725 \cdot 0.079}{0.9 \cdot 970} = 26^\circ,$$

где  $K_{oc} = 0.9$  – коэффициент, учитывающий снижение напряжения сети,

$$E_{d0} = U_{2ф} / K_{u2л} = \frac{718}{0.74} = 970 \text{ В} - \text{средневыпрямленная ЭДС преобразователя}$$

при  $\alpha = 0^\circ$ .

Принимаем  $\alpha_{мин} = 25^\circ$ .

Максимальный угол управления при  $I_{макс}$

$$\alpha_{макс} = \arccos \left( \frac{2 \cdot R_{mn} \cdot I_{макс}}{K_{oc} \cdot E_{d0}} - \cos \delta \right) = \arccos \left( \frac{2 \cdot 0.048 \cdot 3600}{0.9 \cdot 970} - \cos 5^\circ \right) = 140^\circ,$$

где  $\delta = \delta_1 + \delta_2 = 1.8 + 3 = 4.8^\circ$ ;

$$\delta_1 = \frac{180 \cdot \omega_c \cdot t_B}{\pi} = \frac{180 \cdot 314 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{\pi} = 1.8^\circ - \text{угол, соответствующий}$$

времени восстановления тиристорov;

$\delta_2 = 3^\circ$  - предельно допустимое значение асимметрии импульсов управления.

Принимаем  $\delta = 5^\circ$ .

Рассчитаем и построим электромеханические характеристики привода при минимальном угле управления преобразователем (характеристики I на рисунке 5)

$$\omega_{\text{об}} = \frac{1}{c} \cdot (K_{oc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{яц} \cdot I_{\text{эл.макс}}) = \frac{1}{31.4} \cdot (0.9 \cdot 970 \cdot \cos 25^\circ - 0.079 \cdot I_{\text{эл.макс}}) .$$

Результаты расчета сведены в таблицу 4.

Рассчитаем и построим характеристику предельно безопасного инвертирования при работе токопроводящей группы в режиме инвертирования (характеристика II)

$$\begin{aligned} \omega_{\text{об}} &= \frac{1}{c} \cdot [K_{oc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \delta + (R_{\text{мтл}} - R_{\text{ц.об}}) \cdot I_{\text{эл.макс}}] = \\ &= \frac{1}{31.4} \cdot [0.9 \cdot 970 \cdot \cos 5^\circ + (0.048 - 0.031) \cdot I_{\text{эл.макс}}] , \end{aligned}$$

где  $I_{\text{эл.макс}} \leq 0$ .

Результаты расчета сведены в таблицу 4. По данным таблицы построим характеристики (рисунок 5), из которых видно, что разомкнутая система обеспечивает требуемую область работы привода.

Рассчитаем и построим электромеханические характеристики разомкнутой системы электропривода при работе преобразователя в инверторном режиме при максимальном угле (характеристики III)

$$\begin{aligned} \omega_{\text{макс}} &= \frac{1}{c} \cdot (-K_c \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{макс}} - R_{яц} \cdot I_{\text{эл.макс}}) = \\ &= \frac{1}{31.4} \cdot (-0.9 \cdot 970 \cdot \cos 140^\circ - 0.079 \cdot I_{\text{эл.макс}}) , \end{aligned}$$

где  $I_{\text{эл.макс}} \leq 0$ .

Результаты расчета сведены в таблицу 4. По характеристикам рисунка 5 видно, что разомкнутая система электропривода обеспечивает заданную область работы.

Таблица 4 – Данные расчета электромеханических характеристик

Характеристики	I		II		III	
	$I_{дв}, A$	0	3600	0	-3600	0
$\omega_{дв}, рад/с,$ при $K_{oc} = 0.9$	25	16	27.7	30	21.3	30
$\omega_{дв}, рад/с,$ при $K_{oc} = 1.0$	27.7	18.7	30.7	32.7	24.6	32.7

Максимальное значение ЭДС тиристорного преобразователя при угле  $\alpha = 25^\circ$

$$E_{тп.макс} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{мин} = 970 \cdot \cos 25^\circ = 879 \text{ В}$$

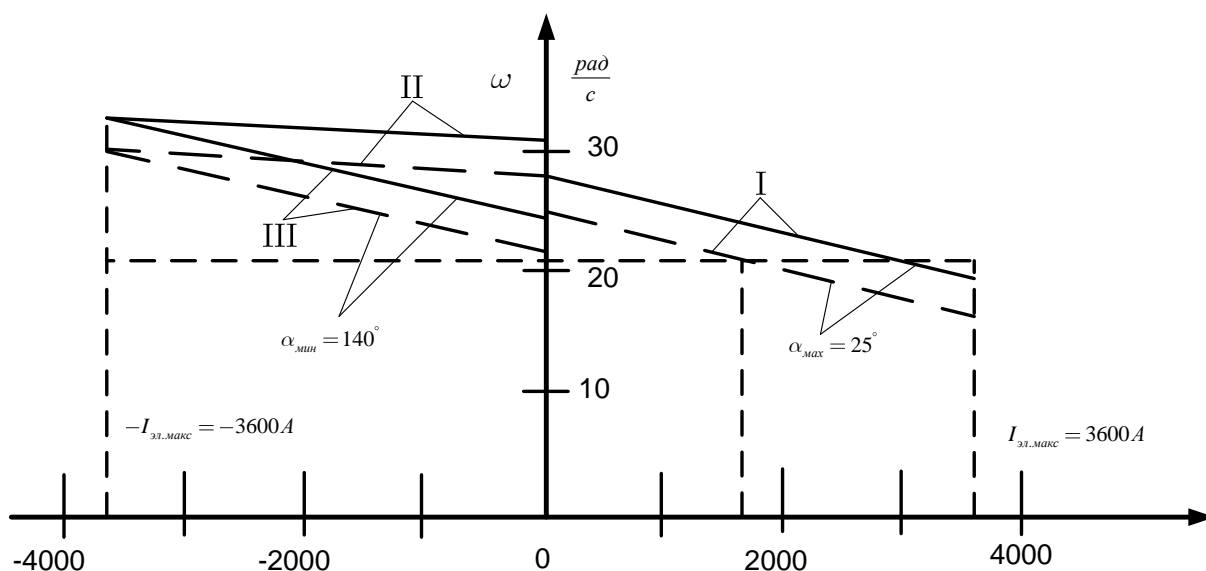


Рисунок 5 – Заданная область работы и электромеханические характеристики разомкнутой системы ТП–Д (сплошными линиями приведены характеристики при  $k_{oc} = 1$ )

#### 2.2.4 Выбор тиристорного преобразователя цепи возбуждения

Обмотка возбуждения двигателя питание получает от отдельного тиристорного преобразователя, предназначенного для питания обмотки возбуждения и стабилизации тока возбуждения. Как и для якорной цепи, для цепи возбуждения выбираем комплектный тиристорный электропривод серии КТЭ по следующим параметрам [7]:

- номинальное выпрямленное напряжение не должно быть меньше напряжения возбуждения двигателя

$$U_{дн} \geq U_B = 162.38 \text{ В};$$

- номинальный ток преобразователя должен быть равен или больше номинального тока возбуждения двигателя

$$I_{дн} \geq I_{дв.н} = 46 \text{ А}.$$

Выбираем комплектный электропривод типа КТЭВ-100/230-УХЛ4 [ 8 ].

Преобразователь имеет следующие технические данные:

- номинальный ток  $I_{дн} = 100 \text{ А}$ ;
- номинальное напряжение  $U_{дн} = 230 \text{ В}$ ;
- схема выпрямления – трехфазная мостовая.

Подключение тиристорного преобразователя обмотки возбуждения к силовой сети 380 В, 50 Гц осуществляется через трансформатор. Выбор согласующего трансформатора, как и для якорной цепи, производится на основании номинальных значений напряжения  $U_{дн}$  и тока  $I_{дн}$ .

Выбираем сухой силовой трансформатор типа ТСП-25/0,7УХЛ4 (трехфазный, естественное воздушное охлаждение, открытое исполнение, для питания тиристорного преобразователя). Основные параметры трансформатора приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры трансформатора ТСП-25/0,7 УХЛ4

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
Первичное напряжение	$U_{1л}$	В	380
Вторичное напряжение	$U_{2л}$	В	205
Выпрямленное напряжение	$U_{дн}$	В	230
Ток вторичной обмотки	$I_{2л}$	А	82
Выпрямленный ток	$I_{дн}$	А	100

Напряжение короткого замыкания	$U_{кз}$	%	5,5
Группа соединений	--	-	Y/Δ/ -11
Потери короткого замыкания	$P_{кз}$	Вт	1100

Расчетные параметры трансформатора возбуждения

Полное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$Z_{тр.в.ф} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{2ф}}{100 \cdot I_{2фн}} = \frac{5,5 \cdot 205}{100 \cdot \frac{82}{\sqrt{3}}} = 0,238157 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление фазы трансформатора

$$R_{тр.в.ф} = \frac{P_{кз}}{m_2 \cdot I_{2фн}^2} = \frac{1100}{3 \cdot \left(\frac{82}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,164 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$X_{тр.в.ф} = \sqrt{Z_{тр.в.ф}^2 - R_{тр.в.ф}^2} = \sqrt{0,238157^2 - 0,164^2} = 0,1727 \text{ Ом}.$$

Индуктивность фазы трансформатора

$$L_{тр.в.ф} = \frac{X_{тр.ф}}{\omega_c} = \frac{0,1727}{314} = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}.$$

## 2.2.5 Расчет параметров цепи возбуждения двигателя

Упрощенная схема силовой цепи включения обмоток возбуждения приведена на рисунке 6

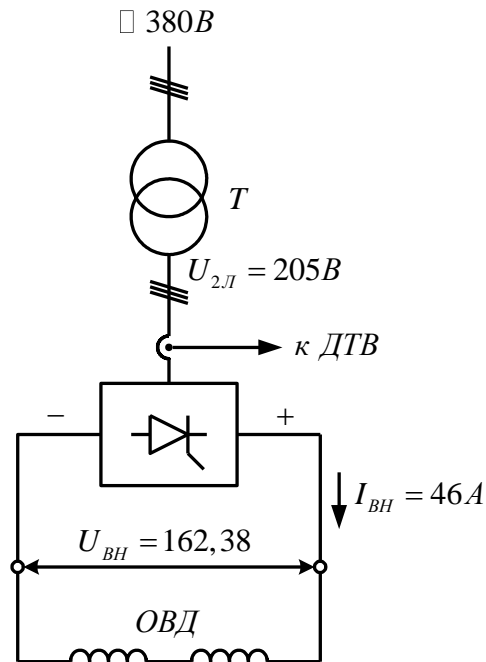


Рисунок 6- Упрощенная схема силовой цепи включения обмоток возбуждения

Сопротивление цепи обмотки возбуждения

$$R_{цс} = R_{с.сop} + R_{mтв} = 3,53 + 0,493 = 4,023 \text{ Ом},$$

где

$$R_{mтв} = 2 \cdot R_{mp.в.ф} + R_{к} = 2 \cdot 0,164 + 0,165 = 0,493 \text{ Ом}$$

– сопротивление силовой цепи преобразователя;

$$R_{к} = \frac{m_{г} \cdot X_{mp.в.ф}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,1727}{2 \cdot \pi} = 0,165 \text{ Ом}$$

– сопротивление, вносимое за счет коммутации анодных токов.

Постоянная времени основного потока

$$T_{г} = \frac{L_{г}}{R_{цс}} = \frac{1,17}{4,023} = 0,2908 \text{ с.}$$

Постоянная времени потока рассеяния

$$T_{с} = \frac{2 \cdot L_{mp.в.ф} + L_{с}}{R_{цс}} = \frac{2 \cdot 0,00055 + 0,23}{4,023} = 0,0574 \text{ с.}$$

Постоянная времени вихревых токов

$$T_k = 0.1 \cdot T_g = 0,1 \cdot 0,2908 = 0,02908 \text{ с.}$$

Значение минимального угла управления преобразователя возбуждения

$$\alpha_{\min} \leq \arccos \frac{I_g \cdot R_{\text{иг}}}{K_c \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{46 \cdot 4,023}{0,85 \cdot 277} = 38^\circ,$$

где  $K_c = 0.85$  – коэффициент, учитывающий снижение напряжения;

$$E_{d0} = \frac{U_{2Л}}{\kappa_{U_{2Л}}} = \frac{205}{0,74} = 277 \text{ В} - \text{ЭДС холостого хода преобразователя (при } \alpha = 0 \text{)}.$$

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

Коэффициент усиления преобразователя цепи возбуждения

$$K_{\text{мгв}} = k_{\text{yo}} \cdot \frac{\pi \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{\text{оп.макс}}} = 0,475 \cdot \frac{\pi \cdot 277}{10} = 41,3.$$

### 2.3 Расчет электромеханических характеристик реверсивного тиристорного преобразователя

Скорость вращения вала электродвигателя:

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

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;

$\Delta U_g$  – 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:

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

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  $\theta$ , 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:

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

где угол  $\lambda = \frac{2 \cdot 180}{m_{\epsilon}} = 60$  град – угол проводимости тиристоры;

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:

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

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

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

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

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. 7:

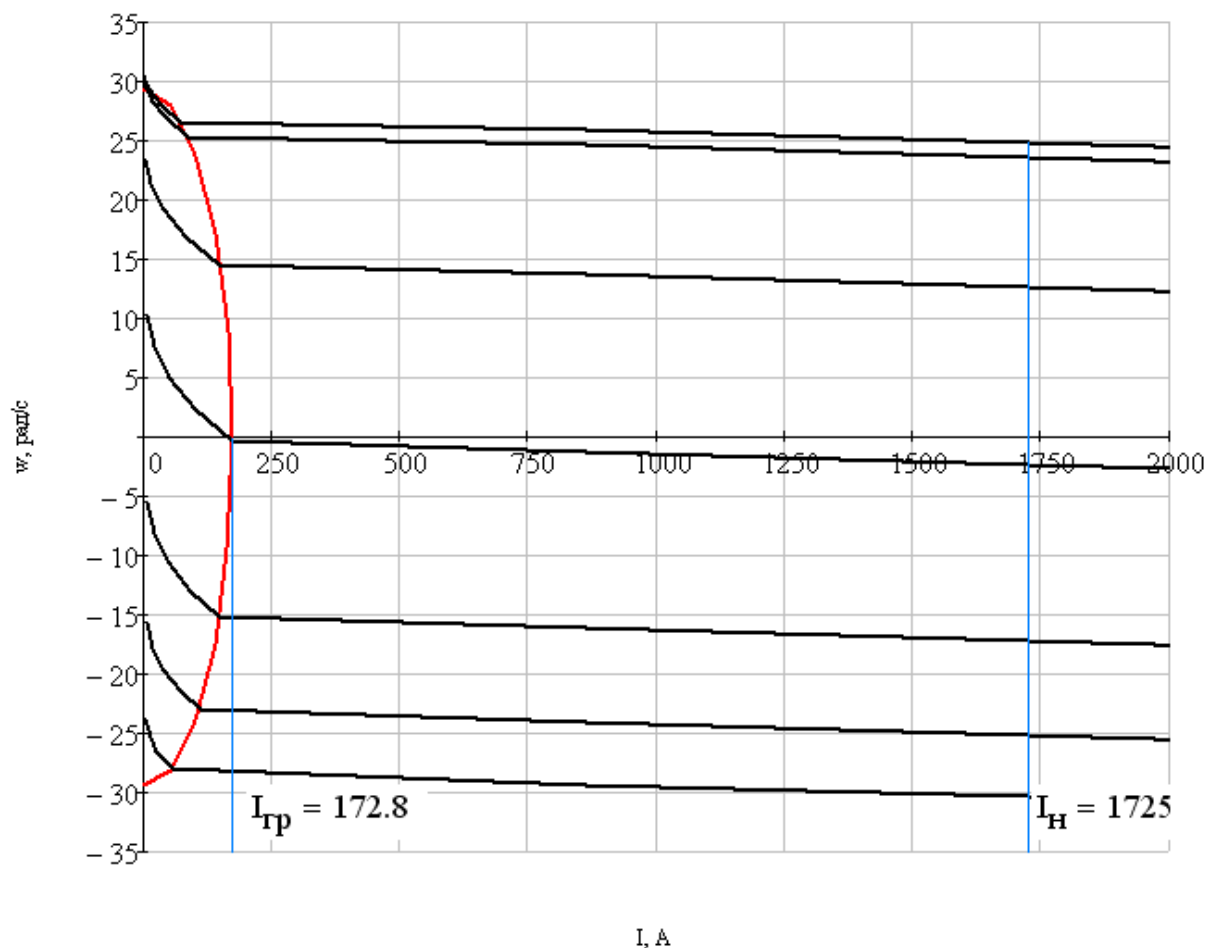


Рисунок 7 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с отдельным управлением

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

## 2.4 Структурная схема силового канала САУ

Структурная схема силового канала электропривода маятниковых ножниц приведена на рисунке 8. Параметры элементов схемы приведены в таблице 6.

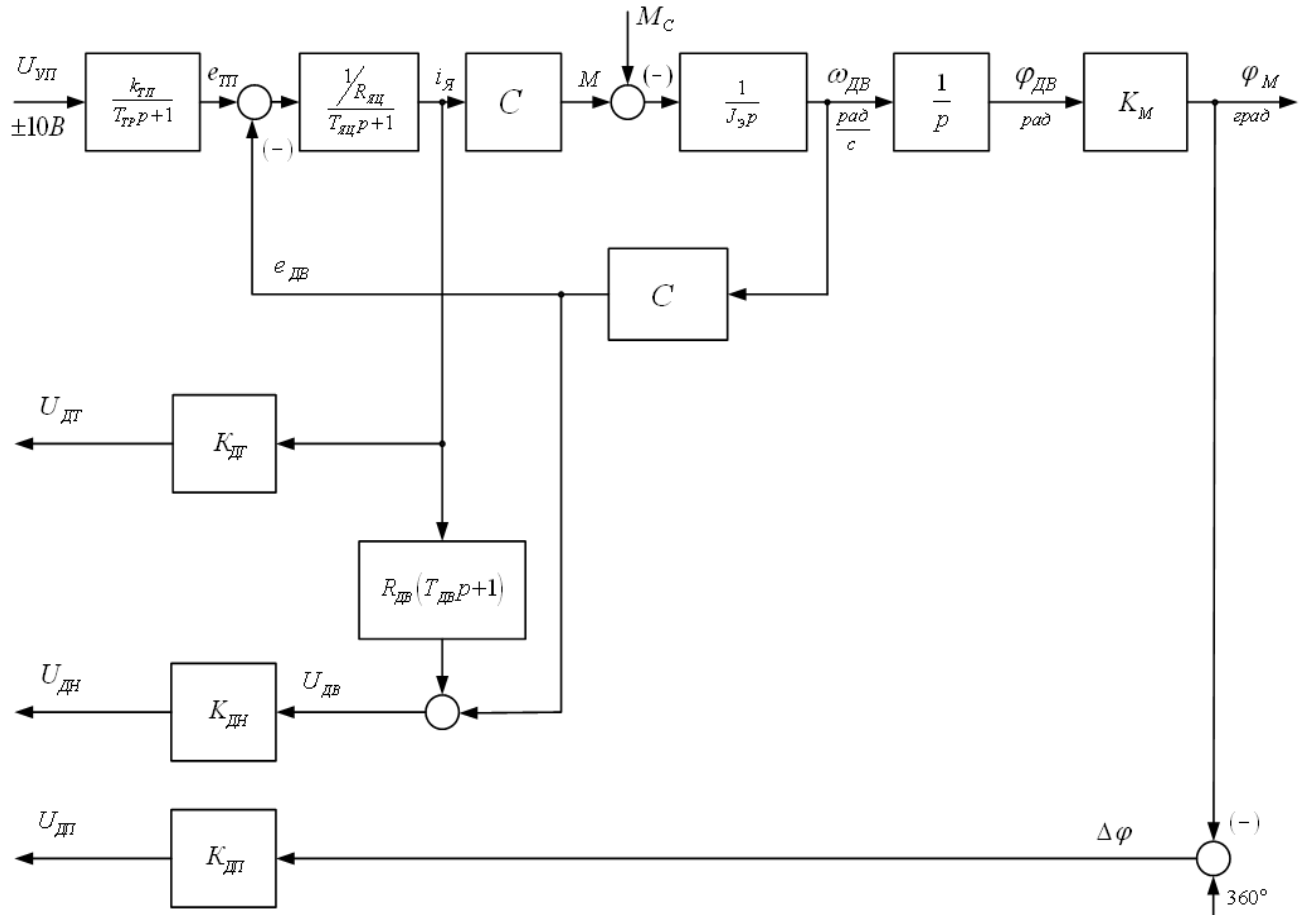


Рисунок 8– Структурная схема силового канала электропривода

Коэффициент обратной связи потоку

$$K_{дт} = \frac{U_{дт.макс}}{I_{яв.макс}} = \frac{10}{4000} = 0,0025 \frac{В}{А},$$

где  $I_{яв.макс} = 4000 А$  – максимальный ток, принятый при настройке датчика тока.

Постоянная времени двигателя

$$T_{дв} = \frac{L_{дв}}{R_{дв}} = \frac{0.000647}{0.0263} = 0.0246 \text{ с}$$

Коэффициент передачи датчика напряжения

$$K_{\text{дн}} = \frac{10}{U_{\text{ДВ МАКС}}} = \frac{10}{1000} = 0.01,$$

где  $U_{\text{ДВ МАКС}} = 1000\text{В}$  – максимальное значение напряжения принятое при настройке датчика напряжения.

Коэффициент передачи механизма

$$K_{\text{м}} = \frac{\Delta\varphi_{\text{м}}}{\Delta\varphi_{\text{ДВ}}} \frac{360^\circ}{2 \cdot \pi \cdot i_{\text{ред}}} = \frac{360^\circ}{2 \cdot \pi \cdot 3.18} = 18 \frac{\text{град}}{\text{рад}}.$$

Коэффициент передачи датчика положения определяется по регулировочной характеристике сельсина с фазочувствительным выпрямителем, приведенной на рисунке 13.

$$K_{\text{дп}} = \frac{10}{\Delta\varphi_{\text{м.макс}}} = \frac{10}{60} = 0.167 \text{ В/град}$$

Момент статический холостого хода привода

$$M_{\text{С.ХХ}} = (1 - \eta) \cdot M_{\text{РЕЗ.ПР}} + M_{\text{С.ДВ}} = 0,1 \cdot 57205,2 + 577 = 6297,52 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $M_{\text{С.ДВ}} = c \cdot I_{\text{ДВ.Н}} - M_{\text{ДВ.Н}} = 31,4 \cdot 1725 - 53588 = 577 \text{ Н} \cdot \text{м}$  – статический момент двигателя.

Таблица 6 - Параметры силовой цепи

$R_{\text{яц}}$	$R_{\text{дв}}$	$K_{\text{тп}}$	$K_{\text{дт}}$	$K_{\text{дн}}$	$K_{\text{дп}}$	$K_{\text{м}}$
Ом	Ом		$\frac{\text{В}}{\text{А}}$		$\frac{\text{В}}{\text{град}}$	$\frac{\text{град}}{\text{рад}}$
0,079	0,0263	144,75	0,0025	0.01	0,167	18
$T_{\text{яц}}$	$T_{\text{дв}}$	$T_{\text{тп}}$	$C$	$J_{\text{э}}$	$M_{\text{РЕЗ.ПР}}$	$M_{\text{С.ХХ}}$
с	с	с		$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\text{Н} \cdot \text{м}$	$\text{Н} \cdot \text{м}$
0,02085	0,0246	0,00167	31,4	975	57205,52	6297,52

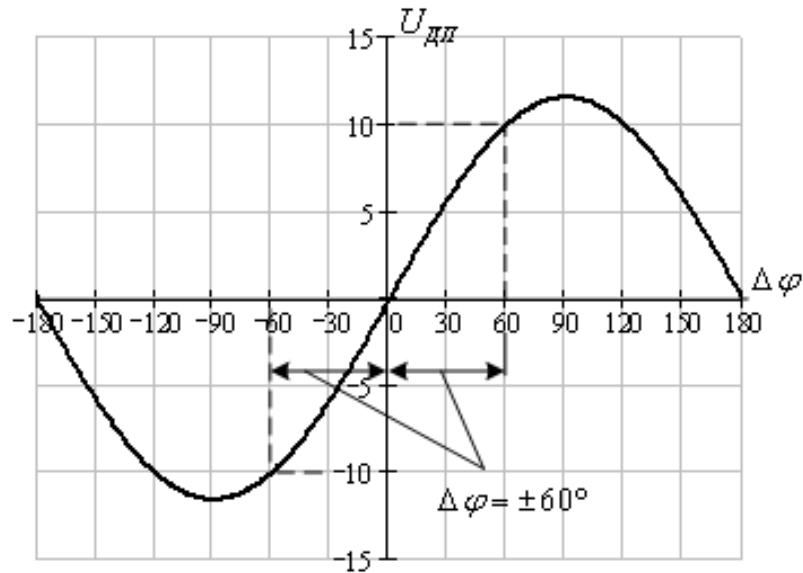


Рисунок 9—Регулировочная характеристика ДП

## 2.5 Синтез линеаризованной структуры САУ

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

Задача синтеза САУ является в первую очередь задачей динамического синтеза, под которой понимается определение параметров элементов, обеспечивающих требуемые динамические свойства всей системы. На этапе предварительного синтеза САУ используются линеаризованные характеристики системы и ее элементов и соответственно методы синтеза. Синтез по заданным показателям качества, основными из которых является максимальное быстродействие системы, сводится к определению оптимальных настроек регуляторов для выбранной структуры. При этом предполагается, что кинематические цепи привода являются идеальными и все функциональные элементы работают в зоне изменения параметров, не выходящих за пределы ограничений. При проектировании электроприводов, выполненных по многоконтурной структуре с последовательной коррекцией,

получили распространение настройки на оптимум по модулю (технический оптимум) и симметричный оптимум.

### **2.5.1 Линеаризованная структура САУ маятниковых ножниц**

Система автоматического регулирования маятниковых ножниц представляет собой двухконтурную систему подчиненного регулирования с П – регулятором Э.Д.С. и с ПИ-регулятором тока. Для точной остановки ножей в исходном положении в конце пути торможения САР замыкается по положению (следающий режим).

Структурная схема линеаризованной САУ маятниковых ножниц приведена на рисунке 10.

В электроприводах, к статическим и динамическим характеристикам которых не предъявляются очень высокие требования, вместо обратной связи по скорости используется обратная связь по ЭДС двигателя. Применение обратных связей по ЭДС позволяет избежать трудностей, связанных с измерением скорости при помощи тахогенераторов. Широкому распространению структур с обратными связями по ЭДС, способствует простота реализации, высокая надежность в эксплуатации, возможность токоограничения путем ограничения напряжения регулятора ЭДС.

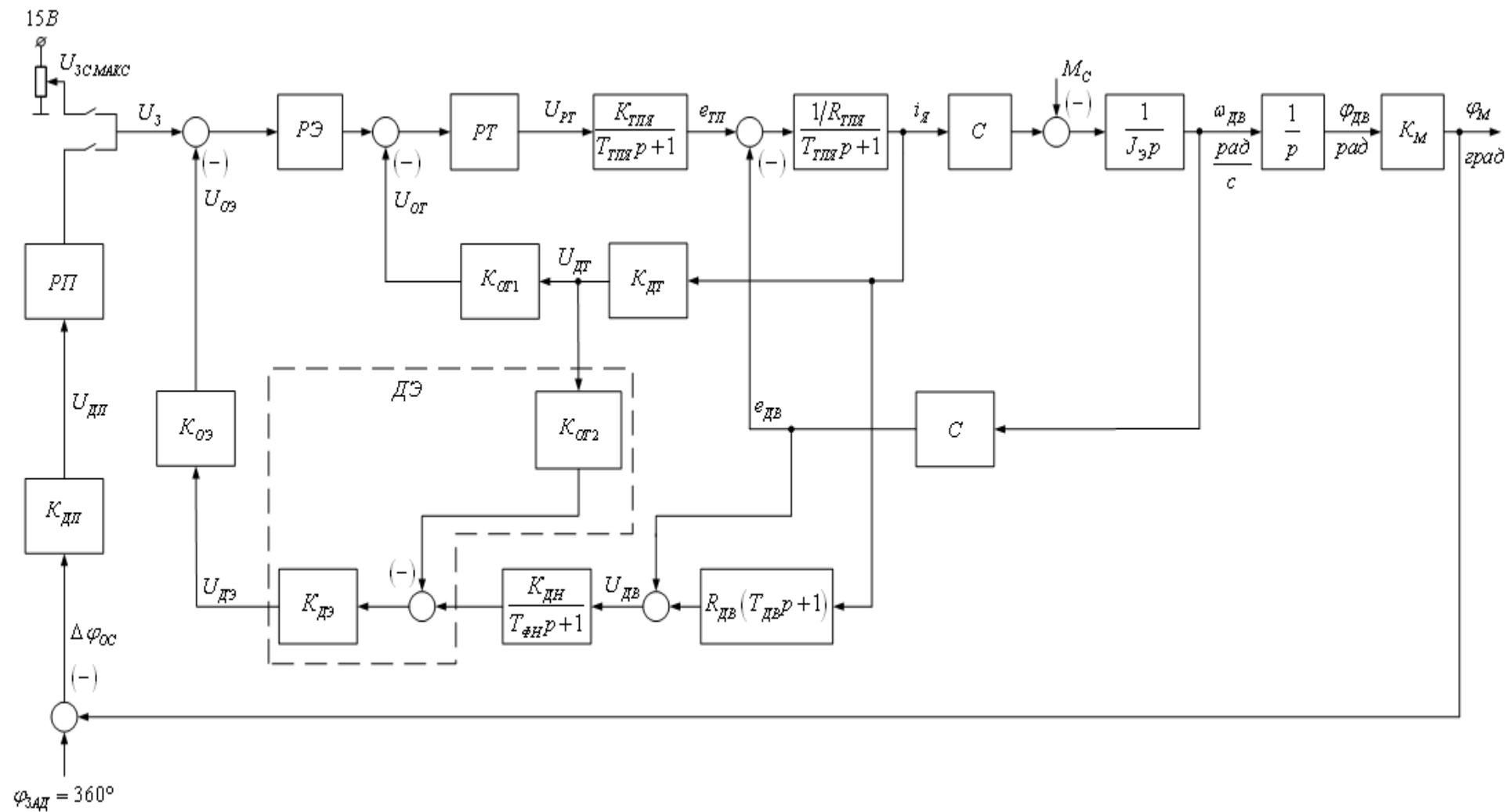


Рисунок 10—Структурная схема линейризованной САУ маятниковых ножниц.

## 2.5.2 Оптимизация контура тока

Прежде всего настройка контура производится без учета внутренней обратной связи по ЭДС двигателя. Тип регулятора и метод оптимизации контура выбираются в зависимости от соотношения  $T_{яц}/4 \cdot T_{\mu}$ , таблица 7.

Таблица 7 – Тип регулятора и метод оптимизации контура

$T_{яц}/4 \cdot T_{\mu}$	Тип регулятора	Метод оптимизации
$\leq 1$	ПИ	МО [СО]
$\geq 1$	ПИ	СО [МО]
$\gg 1$	П [ПИ]	МО [СО]

Контур тока настраивается на технический (модульный) оптимум (МО) с ПИ – РТ при коэффициенте оптимизации  $a_t = 2 [4]$ .

Установка дополнительных сглаживающих фильтров в цепи обратной связи по току тока весьма неблагоприятно сказывается на характере процессов в контуре (приводит к снижению быстродействия как контура тока, так и электропривода в целом), поэтому установка фильтров в цепи обратной связи по току может определяться только необходимостью снижения уровня помех, и должна быть отнесена к этапу ввода электропривода в эксплуатацию.

Поскольку отрицательная обратная связь по ЭДС двигателя при определенных соотношениях параметров электропривода может оказывать существенное влияние на характер протекания переходных процессов в контуре тока, следует оценить ее влияние, определив отношение

$$T_M/T_{яц} = 0.0781/0.02085 = 3,747$$

Полученное значение отношения говорит о незначительном влиянии отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя на процессы в контуре тока, потому при оптимизации контура не будем учитывать ЭДС двигателя (показано пунктиром на рисунке 10).

Определим оптимальные параметры элементов САУ РЭП контура тока

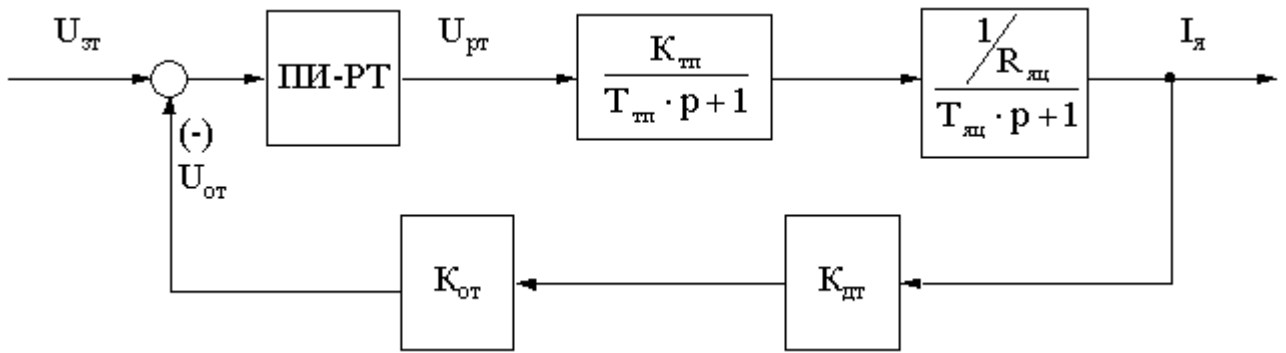


Рисунок 11 – Структурная схема контура тока

Выбираем для настройки ПИ–РТ С передаточной функцией

$$W(p)_{PT} = K_{PT} \frac{T_{PT}p + 1}{T_{PT}p}$$

Определим параметры регулятора:

– постоянная времени

$$T_{PT} = T_{яц} = 0.02085 \text{ с;}$$

– коэффициент усиления

$$K_{PT} = \frac{R_{яц} \cdot T_{яц}}{K_{тп} \cdot K_T \cdot a_T \cdot T_{\mu T}} = \frac{0.079 \cdot 0.02085}{144.75 \cdot 0.00277 \cdot 2 \cdot 0.00167} = 1.23,$$

где  $T_{\mu T} = T_{тп} = 0.00167 \text{ с}$  - эквивалентная малая постоянная времени контура тока;

$$K_T = \frac{U_{зс.макс}}{I_{эл.макс}} = \frac{10}{3600} = 0.00277 \text{ В/А} \text{ - коэффициент обрат. связи по току.}$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$$K_{от1} = \frac{K_T}{K_{дт}} = \frac{0.00277}{0.0025} = 1.108.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$W_{(p)PT.ЗАМ} = \frac{1/K_T}{a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot (T_{\mu T} \cdot p + 1) + 1} = \frac{361}{0.000005577 \cdot p^2 + 0.00334 \cdot p + 1}$$

Логарифмические частотные характеристики контура приведены на рисунке 13.

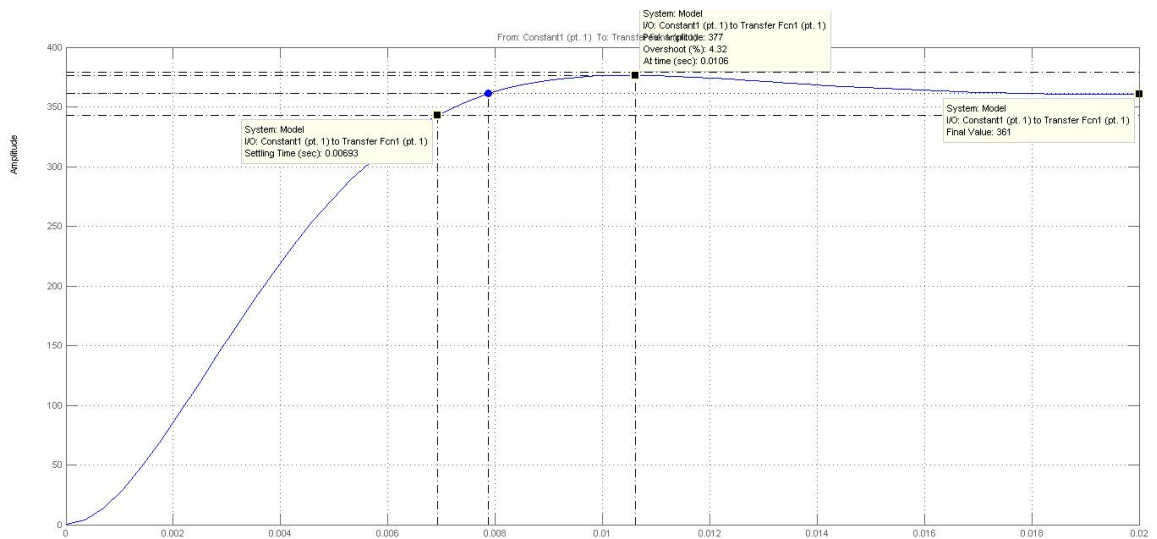


Рисунок 12 - Переходные процессы контура тока

Ожидаемые показатели качества:

- Полоса пропускания по модулю и фаз

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0,71}{T_{\mu T}} = \frac{0,71}{0,00167} = 425 \text{ рад/с};$$

- Перерегулирование, время первого согласования и время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего воздействия

$$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\mu T} = 4.1 \cdot 0.00167 = 0.006847 \text{ с}$$

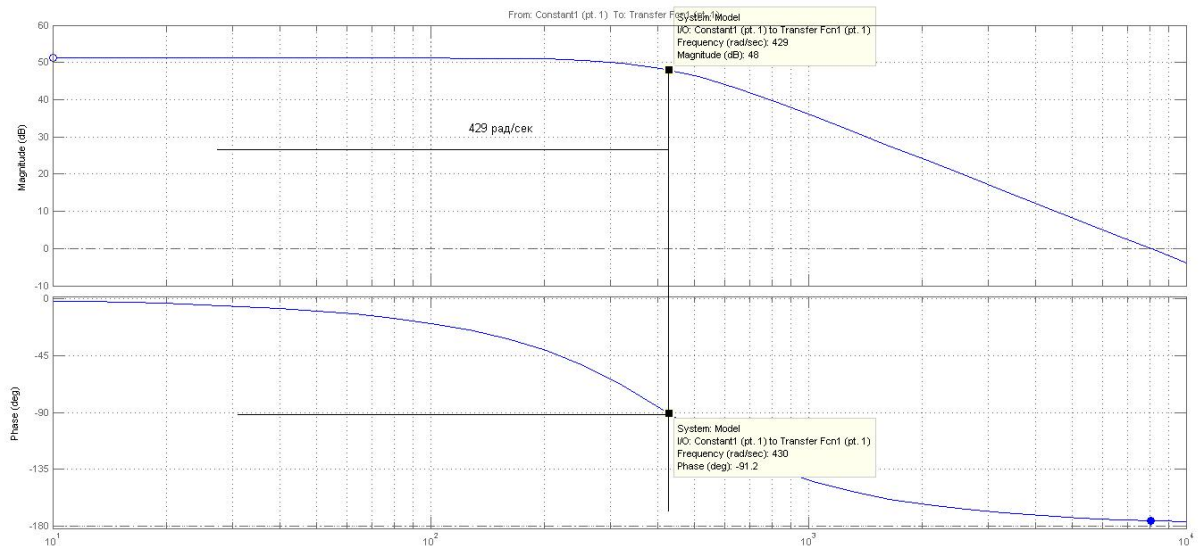


Рисунок 13 – Частотные характеристики замкнутого контура тока

Ожидаемые показатели работы контура тока:

$$\Delta I_{я.ст} = 0 \text{ установившаяся статическая ошибка};$$

$\sigma = 4.3 \%$  - перерегулирования;

$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\mu m} = 4.1 \cdot 0.00167 = 0.006847c$  – время первого согласования

и время переходного процесса, при обработке ступенчатого управляющего задания;

$\omega_n^{(M)} = \omega_n^{(\phi)} = 0.71 / T_{\mu m} = 0.71 / 0.00167 = 425,15 \text{ рад}/c$  – полоса пропускания по модулю и фазе.

### 2.5.3 Оптимизация контура ЭДС

Структурная схема контура ЭДС приведена на рисунке 17

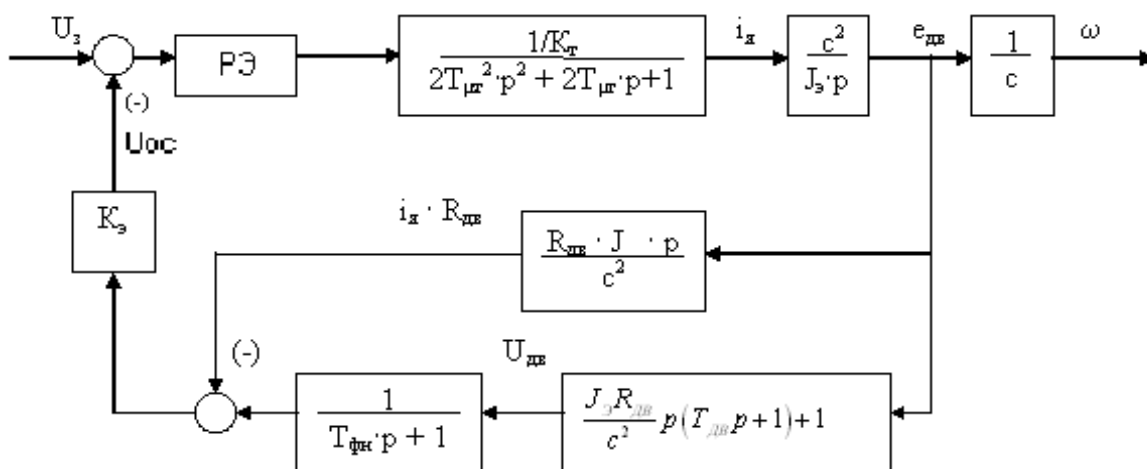


Рисунок 14 – Структурная схема линеаризованной САУ РЭП с П – регулятором ЭДС

Контур может быть настроен на технический или симметричный оптимум. Последний более сложный и применяется в электроприводах, где не допустимы изменения скорости при изменении нагрузки. Для ножниц такое требование излишне.

Если замкнутый оптимизированный контур тока описать усеченной передаточной функцией

$$W(p)_{\text{т.зам}} = \frac{1/K_T}{2 \cdot T_{\mu t} \cdot p + 1}$$

и при настройке привода выполнить условие

$$\kappa_{ог2} = R_{дв} \cdot \frac{\kappa_{дн}}{\kappa_{дт}} = 0.01908 \frac{0,01}{0,0025} = 0,7632,$$

то структурная схема контура ЭДС может быть приведена к виду, показанному на рисунке 14.

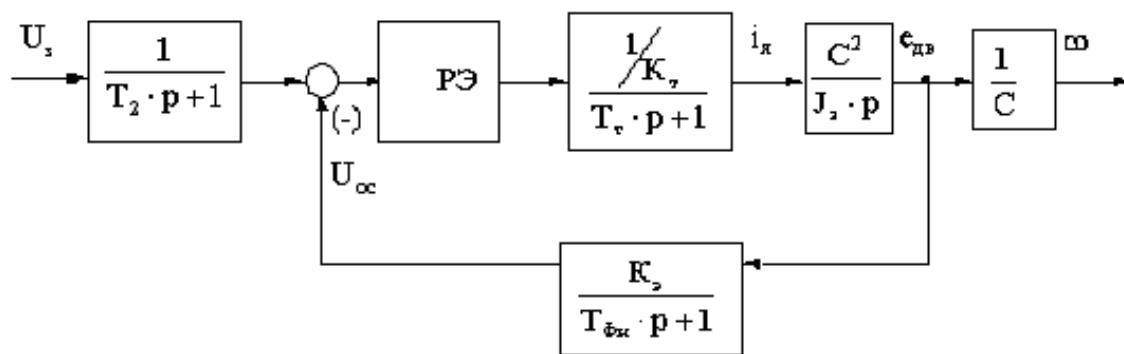


Рисунок 15 – Упрощенная структурная схема контура ЭДС

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

$$W(p)_{PЭ} = K_{PЭ},$$

где  $K_{PЭ} = \frac{J_э \cdot K_T}{K_э \cdot c^2 \cdot a_э \cdot T_{мэ}} = \frac{975 \cdot 0.00277}{0.01524 \cdot 31.4^2 \cdot 2 \cdot 0.027934} = 3,217$  – коэффициент усиления

регулятора;

$$K_э = \frac{U_{з.макс}}{E_{дв.макс}} = \frac{10}{656.26} = 0.01524 \text{ – коэффициент обратной связи по ЭДС;}$$

$E_{дв.макс} = c \cdot \omega_{эп.макс} = 31.4 \cdot 20.9 = 656.26 \text{ В}$  – максимальное значение ЭДС двигателя на входе датчика напряжения;

$T_{мэ} = T_T + T_{фн} = 0,00334 + 0.0246 = 0.027934 \text{ с}$  – эквивалентная малая постоянная времени контура ЭДС;

$T_T = a_T \cdot T_{мТ} = a_T \cdot T_{ПТ} = 2 \cdot 0,00167 = 0,00334 \text{ с}$  – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Поскольку в цепи обратной связи имеется апериодическое звено, то на входе контура необходимо включить такое же звено с постоянной времени фильтра

$$T_2 = T_{фн} = T_{дв} = 0.0246 \text{ с.}$$

Коэффициент передачи входной цепи РЭ обратной связи по ЭДС

$$K_{оэ} = \frac{K_{э}}{K_{дн} \cdot K_{дэ}} = \frac{0.01524}{0.01 \cdot 1} = 1,524.$$

Передаточная функция замкнутого контура ЭДС по управлению с фильтром на входе имеет следующий вид

$$W_{(P)э.замкн} = \frac{e_{дв}(p)}{U_{зс}(p)} = \frac{1/K_{э}}{a_{э} \cdot T_{μэ} \cdot p \cdot (T_{т} \cdot p + 1)(T_{фн} \cdot p + 1) + 1} \approx \frac{1/K_{э}}{a_{э} T_{μэ} p (T_{μэ} p + 1) + 1}.$$

Передаточная функция контура ЭДС, записанная относительно скорости вращения двигателя  $\omega_{дв}$  имеет вид

$$W(p)_{замкн} = \frac{\omega(p)}{U_{зс}(p)} = \frac{1}{c \cdot K_{э}} \frac{1}{a_{э} T_{μэ} p (T_{т} p + 1)(T_{фн} p + 1) + 1} \approx \frac{1}{c \cdot K_{э}} \frac{1}{a_{э} T_{μэ} p (T_{μэ} p + 1) + 1}.$$

Из за наличия в системе некомпенсированной постоянной времени  $T_{дв}$ , быстродействие и статическая точность регулирования системы с обратной связью по ЭДС в  $\left(\frac{T_{т} + T_{дв}}{T_{т}}\right)$  раз (при прочих равных условиях) меньше, чем в системе с обратной связью по скорости. Динамические и статические показатели системы с обратной связью по ЭДС будут тем ближе к показателям системы с обратной связью по скорости, чем меньше величина  $T_{дв}$ .

Структурная схема контура ЭДС по возмущению приведена на рисунке 20

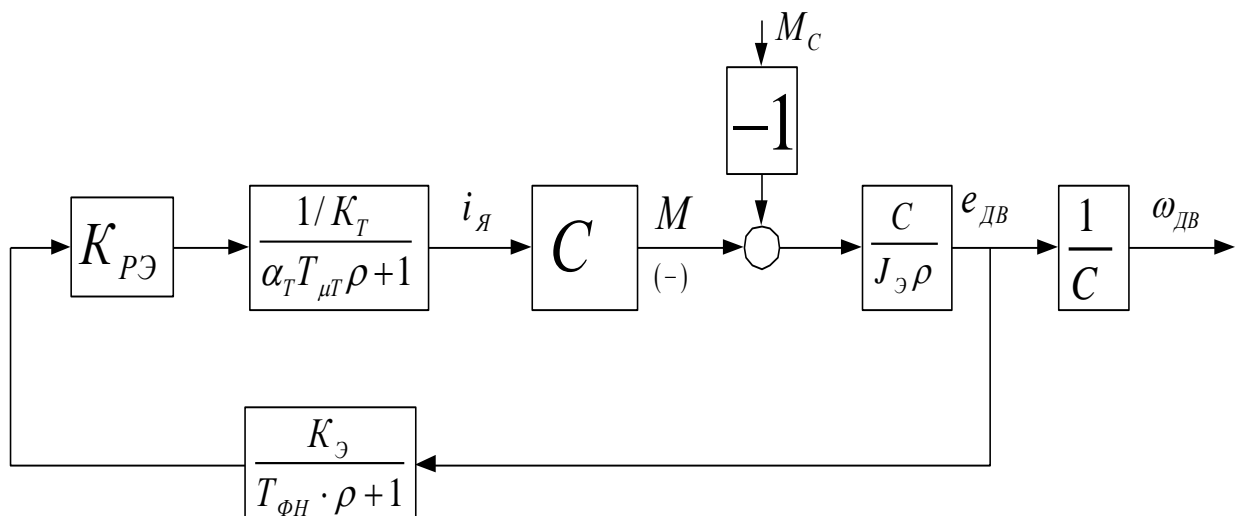


Рисунок 16 – Структурная схема контура ЭДС по возмущению

Передаточная функция замкнутого контура ЭДС по возмущению, записанная относительно скорости, имеет вид

$$W(p)_{B.ЗAM} = \frac{\frac{\alpha_{\varepsilon} \cdot T_{\mu\varepsilon}}{J_{\varepsilon}} \cdot (T_T p + 1) \cdot (T_{\Phi H} p + 1)}{\alpha_{\varepsilon} \cdot T_{\mu\varepsilon} \cdot p \cdot (T_T p + 1) \cdot (T_{\Phi H} p + 1) + 1}.$$

Установившаяся ошибка контура по возмущению

$$\Delta\omega_{B.YCT} = \frac{\alpha_{\varepsilon} \cdot T_{\mu\varepsilon}}{J_{\varepsilon}} \cdot \Delta M_C.$$

При  $\Delta M_C = M_{PE3.IIP} = 57205,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$$\Delta\omega_{B.YCT} = \frac{2 \cdot 0,027934}{875} \cdot 57205,2 = 3,65 \text{ рад/с}.$$

Поскольку оказалось, что погрешность электропривода при изменении нагрузки достаточно велика, при моделировании электропривода в контуре ЭДС была уменьшена постоянная времени фильтра до значения

$$T_{\Phi H} = 0,012 \text{ с}.$$

В этом случае будем иметь

$$T_{\mu\varepsilon} = 0,01534 \text{ с};$$

$$K_{P\varepsilon} = 5,86;$$

$$\Delta\omega_{B.YCT} = 1,8 \text{ рад/с}.$$

Логарифмические частотные характеристики контура рассчитаны с помощью программы Matlab по выражению

$$W(p)_{замкн} = \frac{\omega(p)}{U_{3C}(p)} = \frac{2,09}{0,000001229p^3 + 0,000470631p^2 + 0,03068p + 1}, \text{ приведены на}$$

рисунке 19.

Ожидаемые показатели работы контура ЭДС (ориентировочно для передаточной функции второго порядка):

$\Delta\omega_{B.YCT} = 0$  – статическая ошибка контура по управлению;

$\sigma = 4.3 \%$  – перерегулирование;

$t_{PV1}^{(5)} = t_{PV2}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\mu\varepsilon} = 4.1 \cdot 0,01534 = 0.0629 \text{ с}$  – время первого и окончательного вхождения в 5% зону.

Полоса пропускания контура по фазе и модулю

$$\omega_{II}^{(M)} = \omega_{II}^{(\phi)} = 0.71 / T_{\mu\varepsilon} = 0,71 / 0,01534 = 4,628 \text{ rad} / \text{c};$$

$$f_n^{(\phi)} = f_n^{(M)} = 0,737 \text{ Гц}.$$

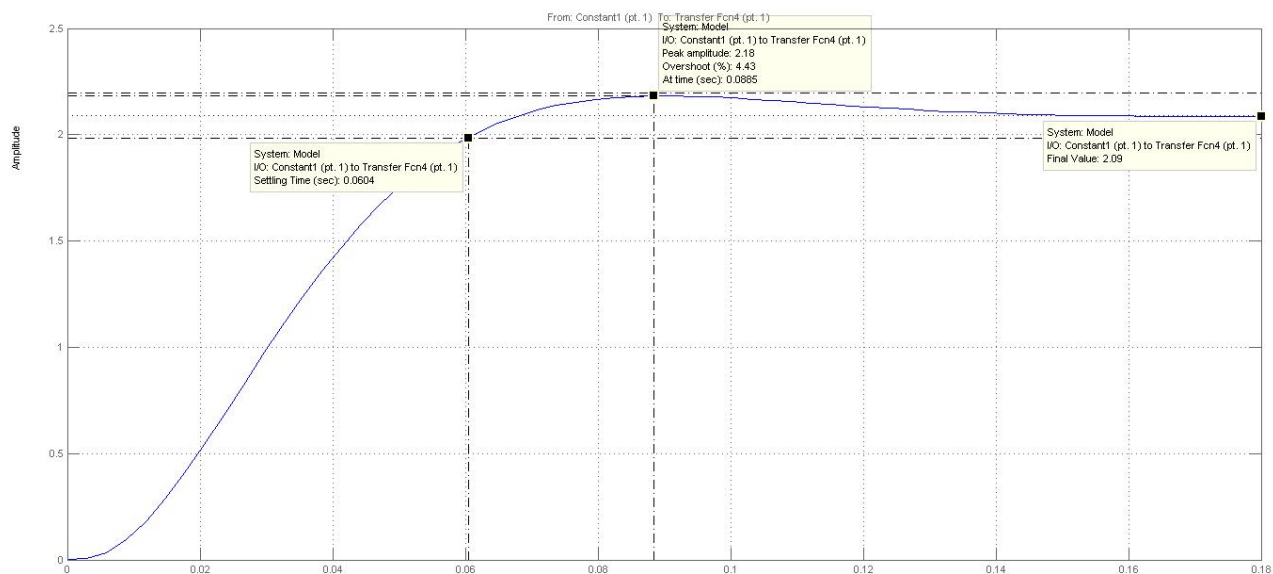


Рисунок 17 -Переходные процессы контура ЭДС

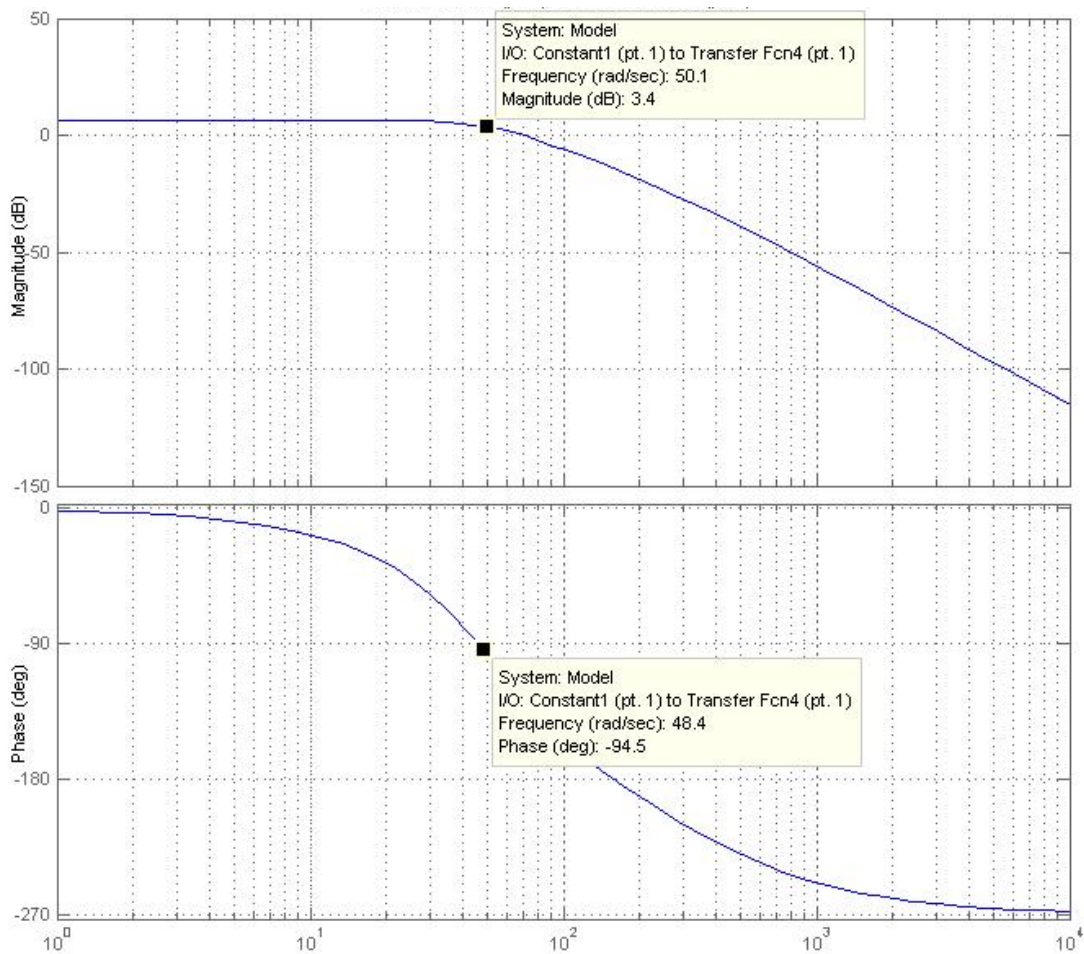


Рисунок 18 – ЛЧХ замкнутого контура ЭДС

## 2.5.4 Оптимизация контура положения

Структурная схема контура положения приведена на рисунке 19. С целью упрощения внутренний контур скорости представлен усеченной передаточной функцией первого порядка

$$W_{СК}(p)_{УЗМ} = \frac{\frac{1}{c \cdot K_{\Omega}}}{a_{\Omega} T_{\mu\Omega} p (T_T p + 1) (T_{\Phi H} p + 1) + 1} \approx \frac{1}{a_{\Omega} T_{\Omega} p + 1}$$

В практике электропривода большое распространение получили астатические структуры СЭП с П – регулятором положения.

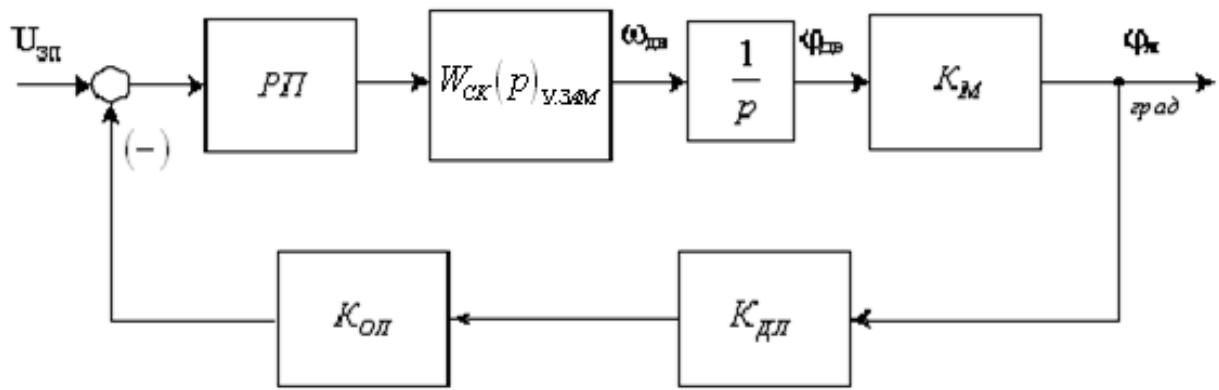


Рисунок 19 – Структурная схема контур положения

Определим оптимальные параметры настройки САУ СЭП контура положения. Для настройки контура на МО выбираем П – регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{РП} = K_{РП},$$

где  $K_{РП} = \frac{K_{\Omega} \cdot c}{K_M \cdot K_{\Pi} \cdot a_{\Pi} \cdot T_{\Omega}} = \frac{0,01524 \cdot 31,4}{18 \cdot 0,167 \cdot 2 \cdot 0,03068} = 2,5944$  – коэффициент усиления

регулятора;

$$K_{\Pi} = K_{ОП} \cdot K_{ДП} = 1 \cdot 0,167 = 0,167 \text{ В/град} \text{ – коэффициент обратной связи по}$$

положению;

$T_{\Omega} = a_{\Omega} \cdot T_{\mu\Omega} = 2 \cdot 0,01534 = 0,03068 \text{ с}$  – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура ЭДС;

$a_{\Pi} = 2$  – коэффициент оптимизации по МО.

Передаточная функция замкнутого контура положения

$$W_{\Pi}(p)_{y.3AM} = \frac{1/K_{\Pi}}{a_{\Pi}T_{\Sigma}p[a_{\Sigma}T_{\mu\Sigma}p(T_T p+1)(T_{\Phi\Pi}p+1)+1]+1} \approx \frac{1/K_{\Pi}}{a_{\Pi}T_{\Sigma}p(T_{\Sigma}p+1)+1}$$

Логарифмические частотные характеристики контура положения рассчитаны по выражению:

$$W_{\Pi}(p)_{y.3AM} = \frac{6}{0,000000075p^4 + 0,000028877p^3 + 0,0018825248p^2 + 0,06136p + 1}$$

Ожидаемые показатели качества работы контура положения в режиме позиционирования (ориентировочно для передаточной функции второго порядка):

$\sigma = 4.3\%$  - перерегулирование;

$t_{PV1}^{(5)} = t_{PV2}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\Sigma} = 4.1 \cdot 0,03068 = 0,126c$ . - время первого и окончательного вхождения в 5% зону.

Полоса пропускания контура по фазе и модулю

$$\omega_{\Pi}^{(m)} = \omega_{\Pi}^{(\phi)} = 0.71/T_{\Sigma} = 0,71/0,03068 = 23,14 \text{ рад/с} \text{ или}$$

$$f_{\Pi}^{(\phi)} = f_{\Pi}^{(m)} = 3,6832 \text{ Гц.}$$

Для исключения перерегулирования при установке в позицию ножниц следует настроить контур на линейный оптимум (ЛО) при  $a_{\Pi}=4$ , тогда  $\kappa_{рп}=0.7125$ . Показатели работы контура при настройке на ЛО (ориентировочно для передаточной функции второго порядка):

-  $\sigma = 0\%$ ;

-  $t_{PV1}^{(5)} = t_{PV2}^{(5)} = 9.5 \cdot T_{\Sigma} = 9.5 \cdot 0,03068 = 0,209c$ .

Полоса пропускания:

- по фазе

$$\omega_{\Pi}^{(\phi)} = \frac{0.51}{T_{\Sigma}} = \frac{0,51}{0,03068} = 16,623 \text{ рад/с} \text{ или } f_{\Pi}^{(\phi)} = 1.47 \text{ Гц;}$$

- по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(m)} = \frac{0,33}{T_{\Sigma}} = \frac{0,33}{0,03068} = 10,756 \text{ рад/с} \text{ или } f_{\Pi}^{(m)} = 0.94 \text{ Гц.}$$

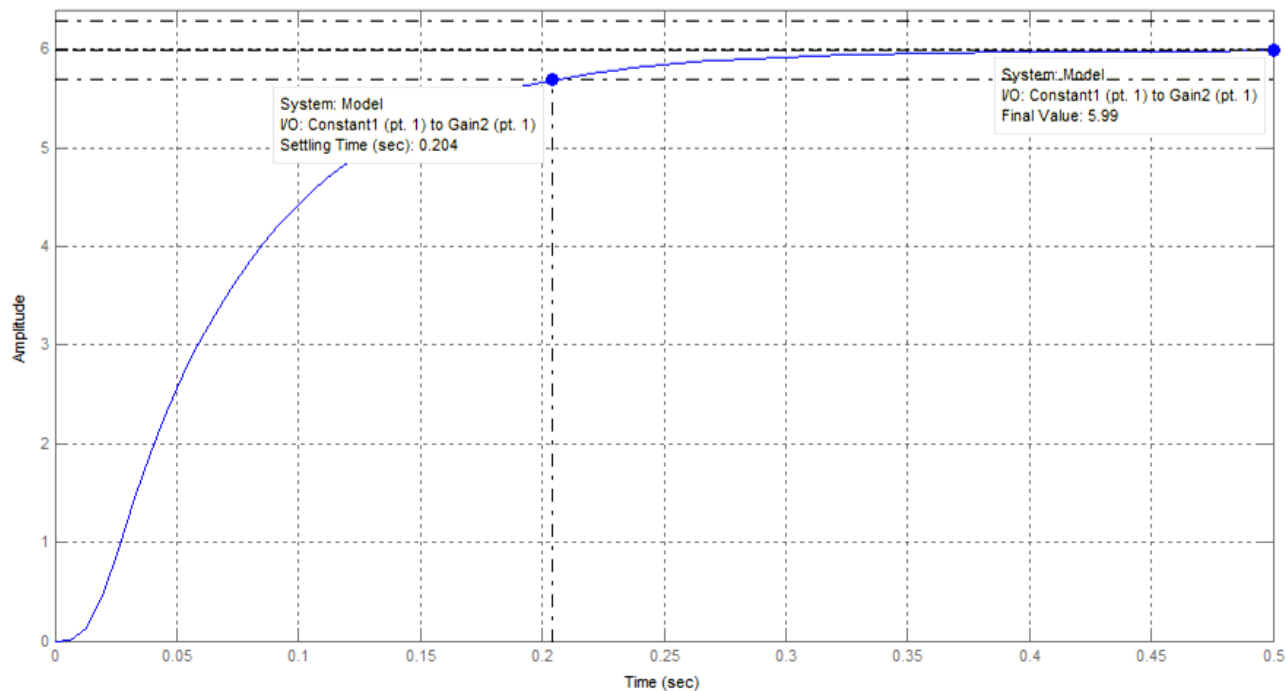


Рисунок 20 -Переходные процессы контура положения

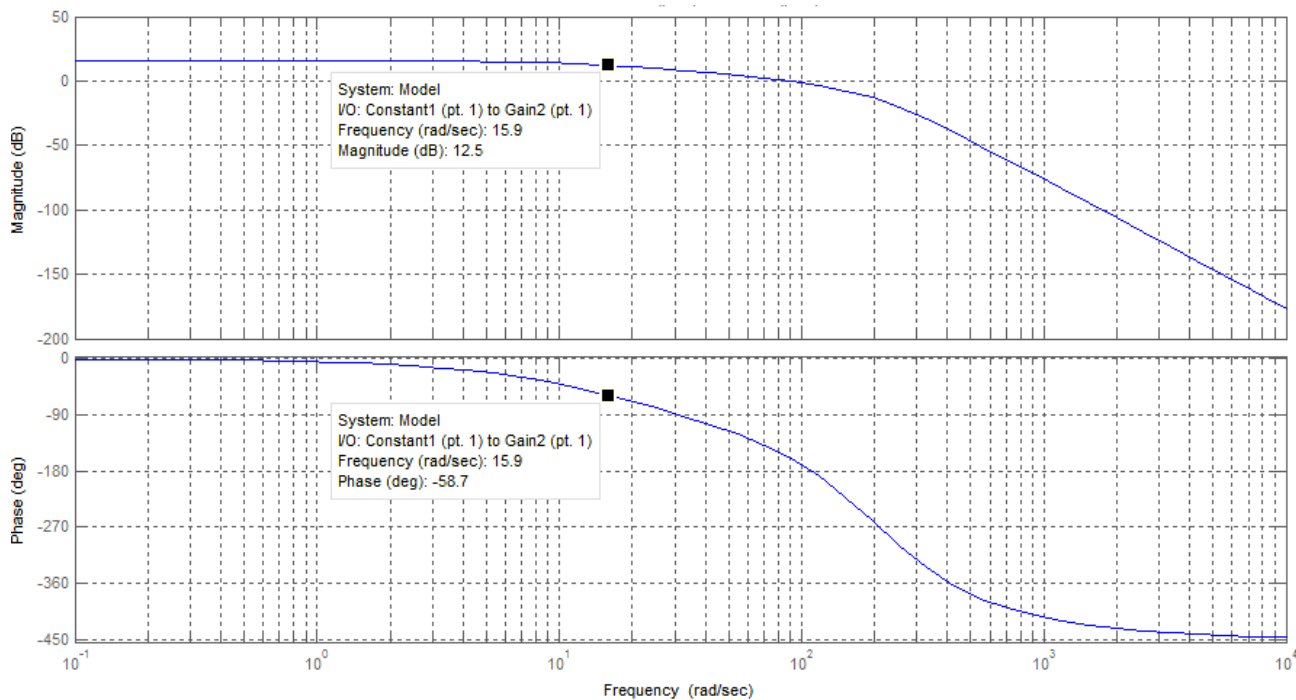
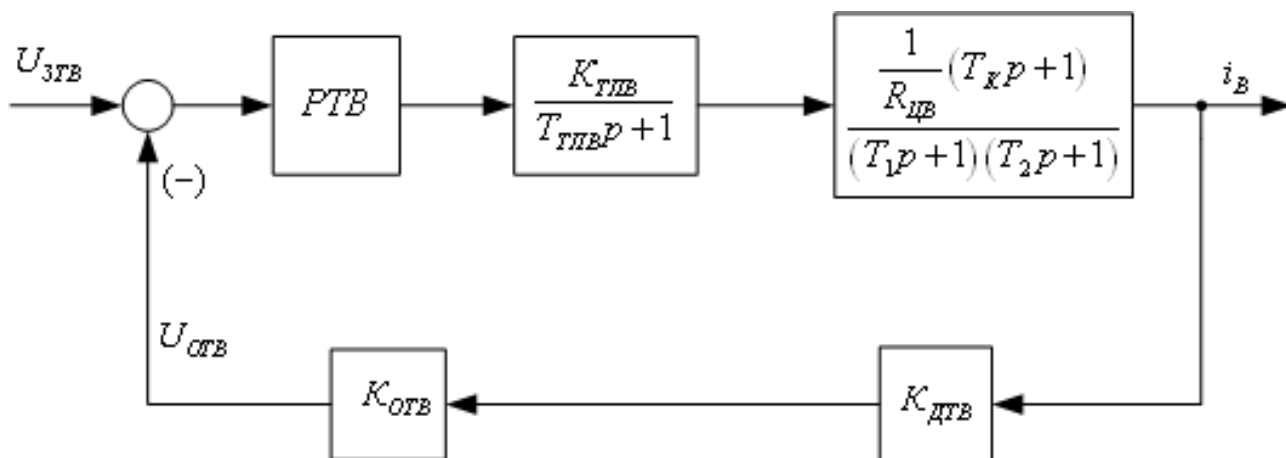


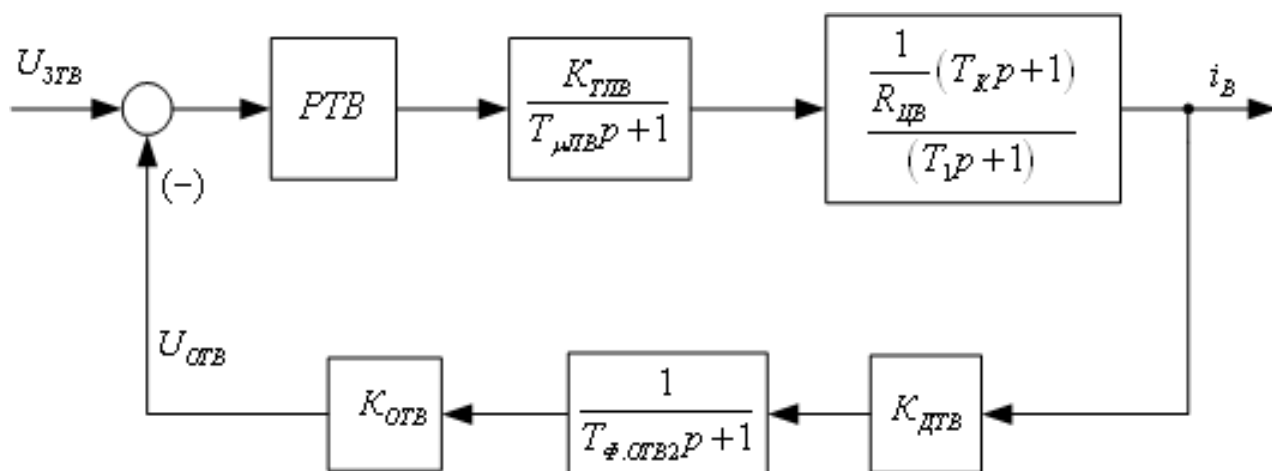
Рисунок 21 – ЛЧХ замкнутого контура положения

## 2.5.5 Настройка контура тока возбуждения двигателя САУ

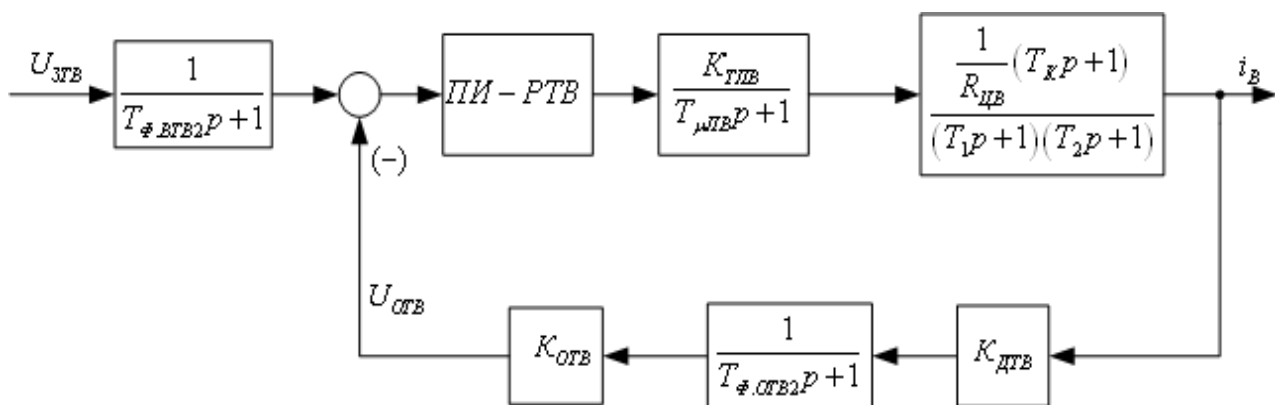
Структурная схема контура тока возбуждения приведена на рисунке 26,а.



а)



б)



в)

Рисунок 22– Структурная схема контура тока возбуждения двигателя

Контур содержит три инерционных звена (апериодических), и одно форсирующее звено.

Значение постоянных времени  $T_1$  и  $T_2$  определяются по выражениям

$$T_1 = \frac{T_k + T_s + T_e}{2} + \sqrt{\left(\frac{T_k + T_s + T_e}{2}\right)^2 - T_k \cdot T_s} =$$

$$= \frac{0.02908 + 0.0574 + 0.2908}{2} + \sqrt{\left(\frac{0.02908 + 0.0574 + 0.2908}{2}\right)^2 - 0.2908 \cdot 0.0574} = 0.326 \text{ с};$$

$$T_2 = \frac{T_k + T_s + T_e}{2} - \sqrt{\left(\frac{T_k + T_s + T_e}{2}\right)^2 - T_k \cdot T_s} =$$

$$= \frac{0.02908 + 0.0574 + 0.2908}{2} - \sqrt{\left(\frac{0.02908 + 0.0574 + 0.2908}{2}\right)^2 - 0.2908 \cdot 0.0574} = 0.0512 \text{ с}.$$

Постоянные времени звеньев связаны соотношениями  $T_1 > (T_{ПВ} + T_2)$  и  $T_1 > T_k$ .

Тогда принимаем:

$T_{\muПВ} = (T_{ПВ} + T_2) = 0.00167 + 0.0512 = 0.05287 \text{ с}$  - малая постоянная времени тиристорного преобразователя возбуждения;

$T_1 = 0,326 \text{ с}$  - большая постоянная времени контура.

Для компенсации влияния форсирующего звена в прямом канале устанавливаем в цепь обратной связи инерционное звено с передаточной функцией

$$W_{\phi.OTB}(\rho) = \frac{1}{T_{\phi.OTB2}\rho + 1},$$

постоянная времени которого выбирается из условия  $T_{\phi.OTB2} = T_k = 0.02908 \text{ с}$ .

Структурная схема преобразованного контура тока возбуждения приведена на рисунке 23,б.

Для настройки контура рисунок 22,б выбирают ПИ – регулятор тока с передаточной функцией

$$W(\rho)_{ПТВ} = K_{ПТВ} \frac{T_{ПТВ}\rho + 1}{T_{ПТВ}\rho}.$$

Настройку контура производят на модульный оптимум (МО). Тогда параметры настройки регулятора выбирают следующим образом:

– коэффициент усиления регулятора

$$K_{РТВ} = \frac{T_1 \cdot R_{ЛВ}}{K_{ТТВ} \cdot K_{ТВ} \cdot a_{ТВ} \cdot T_{\mu ТВ}} = \frac{0.326 \cdot 4.023}{41.3 \cdot 0.217 \cdot 2 \cdot 0.05287} = 1.384,$$

где  $K_{ТВ} = \frac{U_{ЗТВ.МАКС}}{I_{В.Н}} = \frac{10}{46} = 0.217 \frac{В}{А}$  – коэффициент обратной связи по току возбуждения;

$U_{ЗТВ.МАКС} = 10 В$  – максимальное значение напряжения управления на входе контура;

$I_{В.Н}$  – номинальный ток возбуждения двигателя;

$a_{ТВ} = 2$  – коэффициент оптимизации по МО;

– постоянная времени регулятора тока

$$T_{РТВ} = T_1 = 0.326 \text{ с.}$$

Настроенный таким образом контур рисунок 22,б имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(\rho)_{РАЗ} = \frac{1}{a_{ТВ} \cdot T_{\mu ТВ} \rho \cdot (T_{\mu ТВ} \cdot \rho + 1)};$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(\rho)_{ЗАМ} = \frac{\frac{1}{K_{ТВ}} \cdot (T_K \rho + 1)}{a_{ТВ} \cdot T_{\mu ТВ}^2 \rho^2 + a_{ТВ} T_{\mu ТВ} \rho + 1}.$$

Для уменьшения перерегулирования на входе контура устанавливается сглаживающий фильтр с передаточной функцией

$$W(\rho)_{\Phi.ВТВ} = \frac{1}{T_{\Phi.ВТВ2} \rho + 1},$$

постоянная времени которого выбирается из условия

$$T_{\Phi.ВТВ2} = T_K = 0.02908 \text{ с.}$$

Передаточная функция замкнутого контура по управлению с фильтром на входе имеет вид

$$W(\rho)_{ЗАМ} = \frac{\frac{1}{K_{ТВ}}}{a_{ТВ} \cdot T_{\mu ТВ}^2 \rho^2 + a_{ТВ} T_{\mu ТВ} \rho + 1} = \frac{4.608}{0.0055905 \rho^2 + 0.10574 \rho + 1}.$$

Структурная схема настроенного таким образом контура тока возбуждения электродвигателя имеет вид, представленный на рисунке 22,в.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ определяется по выражению

$$K_{OTB} = \frac{K_{ТВ}}{K_{ДТВ}} = \frac{0,217}{0,2} = 1,085,$$

где  $K_{ДТВ} = \frac{U_{ДТВ.МАКС}}{I_{ВХ.ДТВ.МАКС}} = \frac{10}{50} = 0,2 \frac{В}{А}$  — коэффициент передачи ДТВ.

## 2.6 Переходные процессы в нелинейной САУ

Получение достоверных качественных и особенно количественных характеристик поведения реальной системы автоматизированного электропривода конкретного производственного механизма требует максимального учета особенностей работы, как в целом электропривода, так и его отдельных элементов. В первую очередь это учет особенностей тиристорного преобразователя ( дискретное полууправляемое устройство с конкретным способом управления и законом согласования регулировочных характеристик групп вентиляей ) и элементов систем электропривода с нелинейными характеристиками (СИФУ, регуляторы, обратные связи, нагрузки реактивного характера, кинематические цепи и т.д.), параметров электрической и механической систем, зависящих от времени и других параметров(индуктивность силовой цепи, момент инерции и т.д.).

Структурная схема нелинейной САУ электропривода

Основные нелинейности САУ электропривода маятниковых ножниц:

— насыщение регуляторов

$$U_{РЭ} \leq U_{РЭ МАКС}; U_{РТ} \leq U_{РТ МАКС}; U_{РП} \leq U_{РП МАКС};$$

— токоограничение , которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора ЭДС

$$U_{РЭ ДОП} = K_T \cdot I_{ЭП МАКС} = 0,0027 \cdot 3600 = 10В;$$

–ограничение минимального угла управления преобразователя , что определяет ограничение выходной ЭДС преобразователя

$$E_{ТП \text{ МАКС}} = E_{d0} \cdot \cos\alpha_{\text{МИН}} = 970 \cdot \cos 25^\circ = 879 \text{ В};$$

–реактивный характер нагрузки

$$M_c(\omega) = M_c \cdot \text{Sign}\omega.$$

Основной нелинейностью электропривода является дискретный преобразователь. Учет его особенностей может быть произведен с использованием специальной модели реверсивного тиристорного преобразователя с трехфазной мостовой схемой выпрямления, с отдельным управлением группами вентилей, с линейной СИФУ.

Структурная схема нелинейной САУ электропривода ножниц приведена на рисунке 23. Параметры структурной схемы приведены в таблице 8.

Таблица 8–Параметры элементов структурная схема нелинейной САУ

$K_{РЭ}$	$K_{РТ}$	$T_{РТ}$ с	$K_{ТП}$	$T_{ТП}$ с	$R_{ЯЦ}$ Ом	$T_{ЯЦ}$ с
5,86	1,23	0,02085	144,75	0,00167	0,079	0,02085
с	$M_C$ Н·м	$M_{РЕЗ}$ Н·м	$J_{Э}$ кг·м <sup>2</sup>	$K_M$ град/рад	$K_{ДТ}$ В/А	$K_{ОТ1}$
31,4	6297,52	57205,52	975	18	0,0025	1,108
$R_{ДВ}$ Ом	$T_{ДВ}$ с	$L_{ДВ}$ Гн	$K_{ДН}$	$T_{ФН}$ с	$K_{ОТ2}$	$K_{ДЭ}$
0,02663	0,0263	0,000647	0,01	0,012	0,7632	1
$K_{ОЭ}$	$K_{ДП}$ В/град	$K_{РП}$	$L_{ЯЦ}$ Гн	$E_{ТП.МАКС}$ В	$e_{2 \text{ МАКС}}$ В	$1/R_{ЯЦ}$
1,524	0,167	2,5944	0,001647	879	1015	12,66



Для моделирования работы СЭП при отработке одного цикла реза (с металлом) использовалась программа Matlab. Имитационная модель электропривода ножниц приведена на рисунке 31,

Цикл реза, рассчитанный с помощью программа Matlab, приведен на рисунке 24.

Проверенные исследования электропривода на имитационных моделях подтвердили его работоспособность и высокие динамические характеристики.

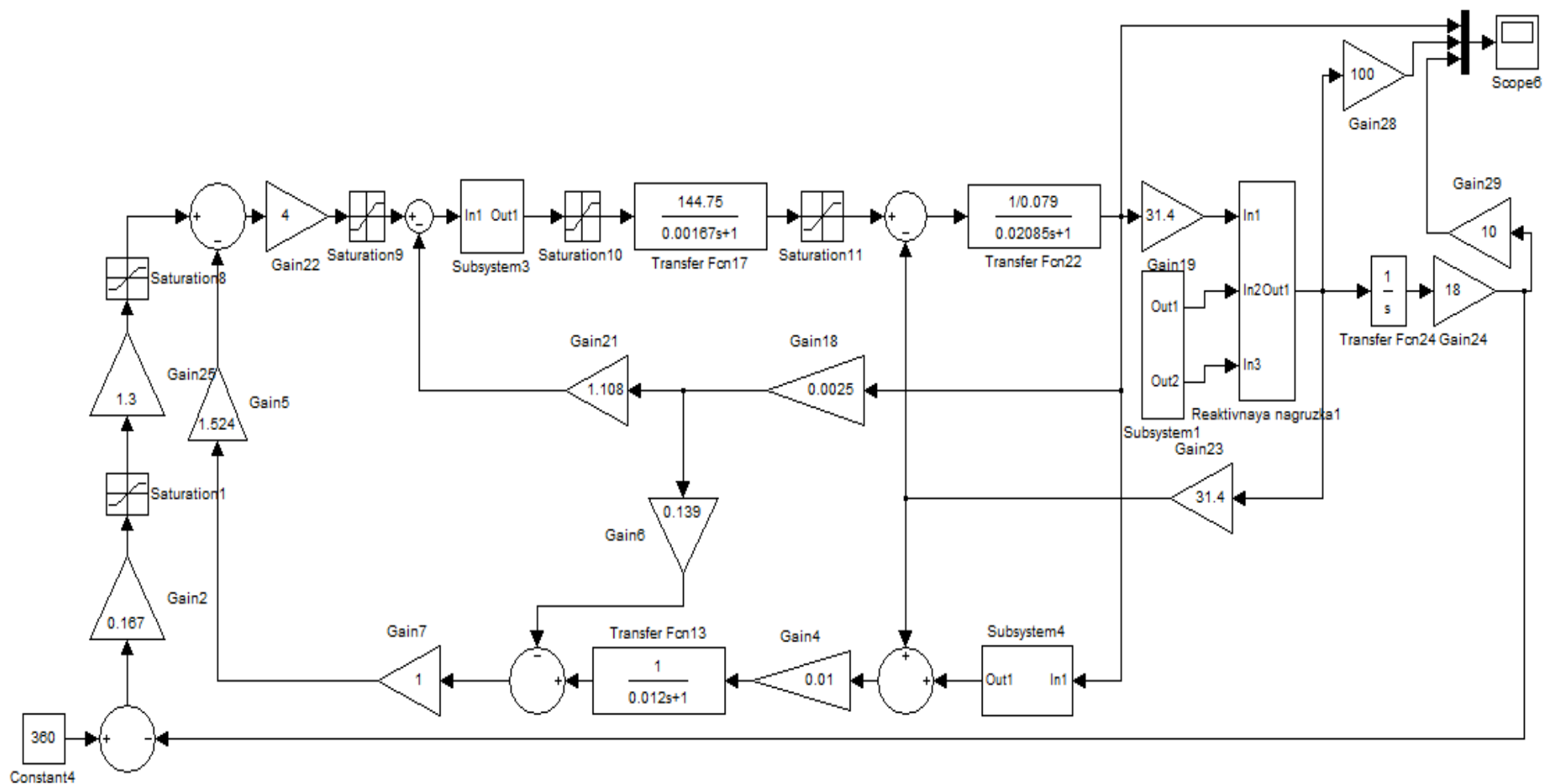


Рисунок 24–Схема набора имитационной модели электропривода ножниц среде MATLAB SIMULINK

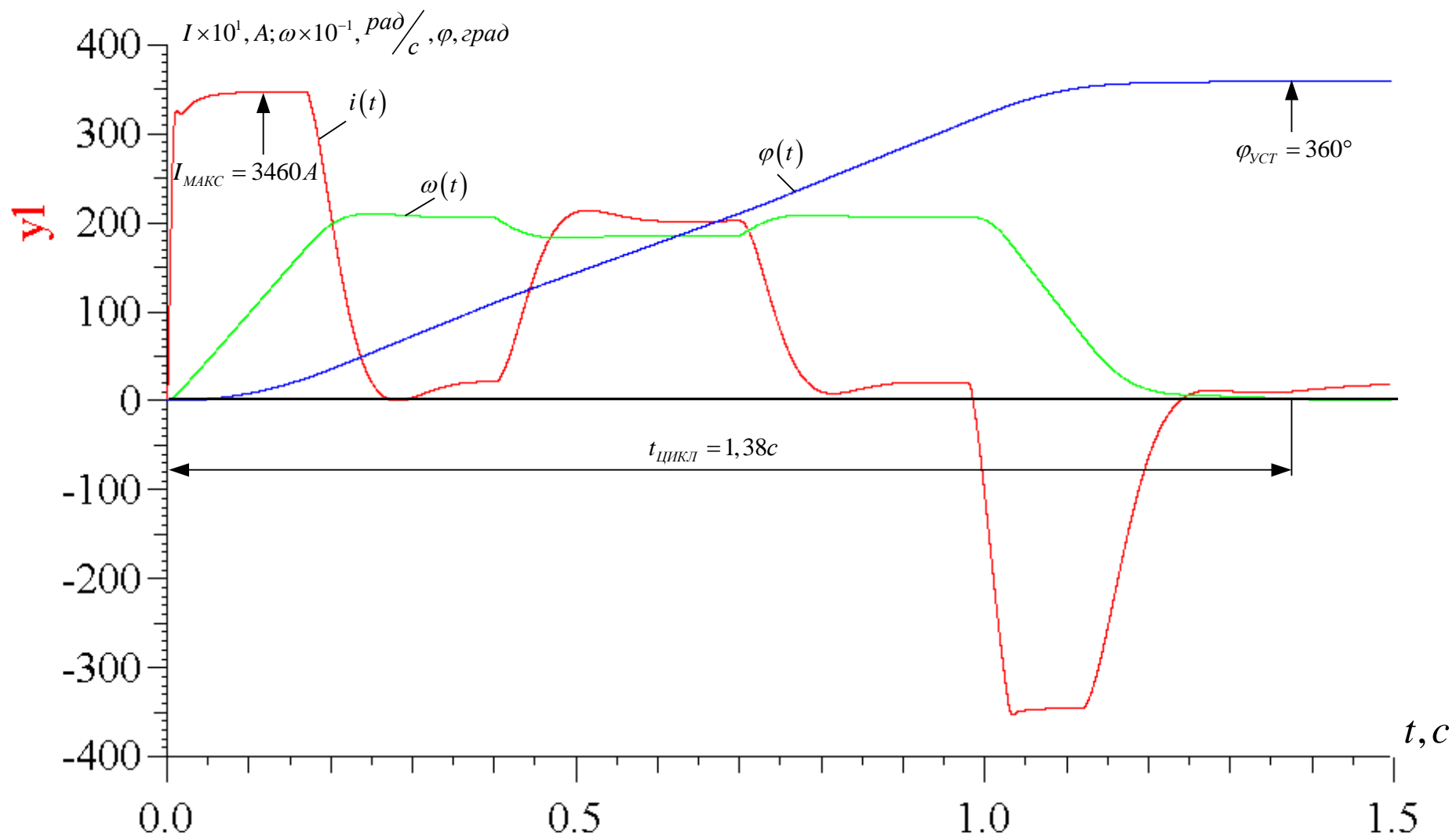


Рисунок 25—Полный цикл работы маятниковых ножниц



Схема рисунка 30 описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}U_{PЭ} &= k_{PЭ}(U_{ЗС} - U_{ОЭ}); \\U_{ОЭ} &= k_{Э} \cdot E_{ДВ}(U_{ЗС} - U_{ОЭ}); \\U_{РТ} &= k_{ОУ.РТ} \cdot (U_{PЭ} - U_{ОТ}); \\E_{ТП} &= k_{ТП} \cdot U_{РТ}; \\E_{ДВ} &= E_{ТП} - R_{ЯЦ} \cdot I; \\\omega &= \frac{E_{ДВ}}{C},\end{aligned}$$

где  $k_{ОУРТ} = 20000$  - коэффициент усиления операционного усилителя, на котором реализован ПИ-РТ.

Решив систему уравнений относительно  $\omega$  найдём уравнение для статической ( электромеханической ) характеристики привода в режиме стабилизации скорости

$$\omega(I) = \frac{k_{ТП} \cdot k_{ОУ.РТ} \cdot k_{PЭ}}{1 + k_{ТП} \cdot k_{ОУ.РТ} \cdot k_{PЭ} \cdot k_{Э}} \cdot \frac{U_{ЗС}}{c} - \frac{R_{ЯЦ} \cdot I}{c} \cdot \frac{1 + \frac{k_{ТП} \cdot k_{ОУ.РТ} \cdot k_T}{R_{ЯЦ}}}{1 + k_{ТП} \cdot k_{ОУ.РТ} \cdot k_{PЭ} \cdot k_{Э}}.$$

Подставив численные значения, получим

$$\begin{aligned}\omega(I) &= \frac{144,75 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 5,86}{1 + 144,75 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 5,86 \cdot 0,01524} \cdot \frac{U_{ЗС}}{31,4} - \frac{0,079 \cdot I}{31,4} \cdot \frac{1 + \frac{144,75 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,00277}{0,079}}{1 + 144,75 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 5,86 \cdot 0,01524} = \\&= \omega_0(U_{ЗС}) - \Delta\omega(I) = 2,0897 \cdot U_{ЗС} - 9,878 \cdot 10^{-4} \cdot I.\end{aligned}\quad (1)$$

Погрешность скорости по управлению

$$\Delta\omega(U_{ЗС}) = \omega_{Зад}(U_{ЗС}) - \omega_{уст}(U_{ЗС}) = \frac{U_{ЗС}}{K_{Э} \cdot c} - 2,0897 U_{ЗС} = 0.$$

Погрешность скорости электропривода при изменении нагрузки в % определяется по выражению

$$\Delta_H = \frac{\omega_0(U_{ЗС}) - \omega(I_{ДВ.Н})}{\omega_0(U_{ЗС}) + \omega(I_{ДВ.Н})} \cdot 100\% = \frac{\Delta\omega(I_{ДВ.Н})}{\omega_0(U_{ЗС}) + \omega(I_{ДВ.Н})} \cdot 100\% \quad (2)$$

При увеличении нагрузки скорость двигателя уменьшается и напряжение регулятора ЭДС увеличивается. Как только регулятор ЭДС входит в насыщение,

отрицательная обратная связь по ЭДС отключается и система регулирования переходит в режим стабилизации тока. Структурная схема электропривода для этого режима приведена на рисунке 31.

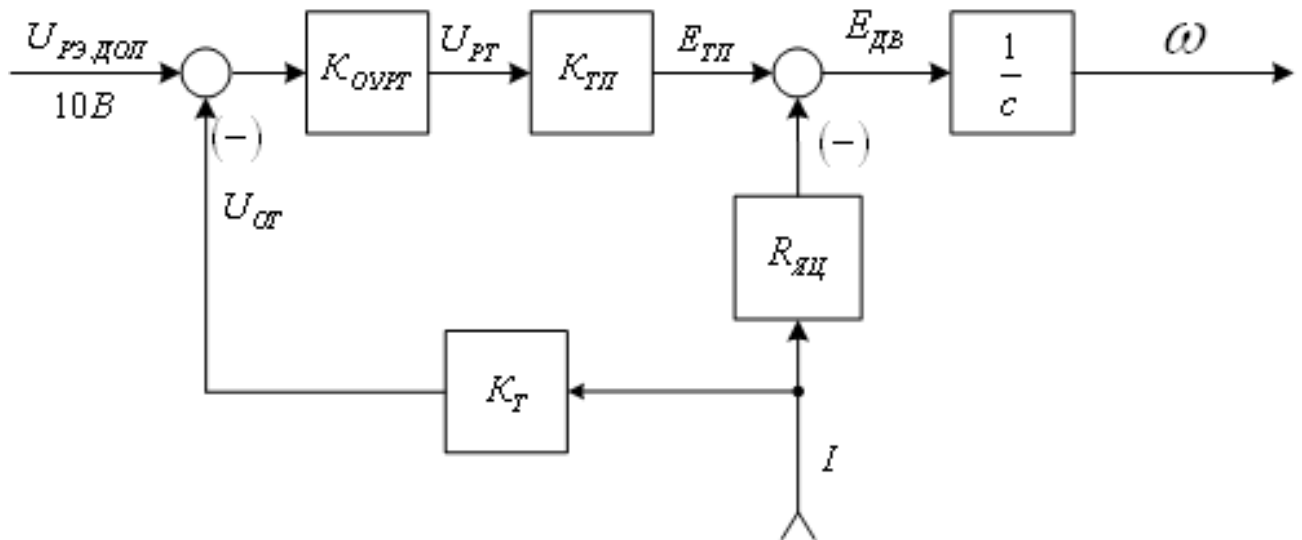


Рисунок 31 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации тока

Схема рисунке 31 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{рТ} = (U_{рэ.доп} - U_{от}) \cdot K_{ов.рТ};$$

$$U_{от} = K_{т} \cdot I;$$

$$E_{тП} = K_{тП} \cdot U_{рТ};$$

$$I = \frac{E_{тП} - E_{дв}}{R_{яц}};$$

$$E_{дв} = C \cdot \omega.$$

Из совместного решения системы уравнений найдем выражение для статической характеристики электропривода в режиме стабилизации тока

$$I(\omega) = \frac{k_{ов.рТ} \cdot k_{тП}}{R_{яц} + k_{ов.рТ} \cdot k_{тП} \cdot k_{т}} \cdot U_{рэ.доп} - \frac{c \cdot \omega}{R_{яц} + k_{тП} \cdot k_{ов.рТ} \cdot k_{т}}.$$

Подставив численные значения, получим

$$\begin{aligned} I(\omega) &= \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 144,75}{0,079 + 2 \cdot 10^4 \cdot 144,75 \cdot 0,00277} \cdot U_{рэ.доп} - \frac{31,4 \cdot \omega}{0,079 + 144,75 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,00277} = \\ &= I(\omega=0) - \Delta I(\omega) = 361 \cdot U_{рэ.доп} - 3,916 \cdot 10^{-3} \cdot \omega. \end{aligned} \quad (3)$$

Точность стабилизации тока при изменении скорости двигателя

$$\Delta\omega = \frac{\Delta I(\omega_{ЭП.МАКС})}{I(\omega = 0)} \cdot 100\% . \quad (4)$$

Задаваясь рядом значений тока  $I_{по}$  выражению (1) рассчитываем статические характеристики привода для нескольких значений  $U_{3с}$ . По выражению (2) определяем погрешность скорости от изменения нагрузки. Расчёты сводим в таблице 9.

Таблица 9

$U_{3с}, В$	$\omega, рад/с$			$\Delta n, \%$
	$I = 0А$	$I_{ДВ.Н} = 1725А$	$I_{ЭП.МАКС} = 3600А$	
10	20.897	19.193	17.341	4.25
8	16.718	15.014	13.162	5.37
6	12.538	10.834	8.982	7.29
4	8.359	6.655	4.803	11.349
2	4.179	2.475	0.623	25.605

Задаваясь рядом значений  $\omega$  по выражению (3) рассчитываем статическую характеристику привода в режиме стабилизации тока. Результаты расчёта приведены в таблице 10. По выражению (4) определяем погрешность поддержания тока.

Таблица 10

$\omega, рад/с$	0	$\omega_{ЭП.МАКС} = 20,9$ $рад/с$	$\Delta n, \%$
$I, А$	3599,96	3599,88	$2,273 \cdot 10^{-3}$

Электромеханические характеристики электропривода приведены на рисунке 32

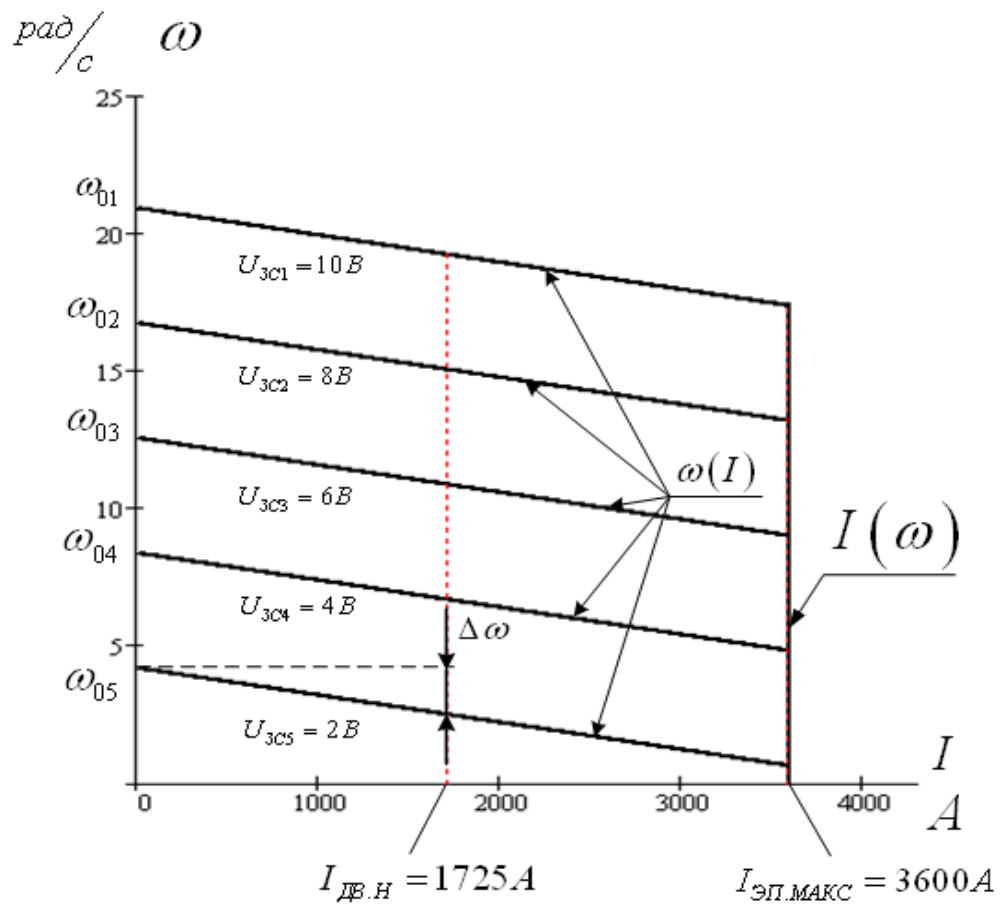


Рисунок 32 – Статические характеристики электропривода

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

<b>Группа</b> 3-5Г3А2	<b>ФИО</b> Рахманов Хасан Эркин угли
--------------------------	---

<b>Институт</b>	Институт электронного обучения (ИнЭО)	<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Заказчиком проекта является ООО «Промполим»; - Примерный бюджет проекта 800 тыс. руб.; - В реализации проекта задействованы 3 человека: научный руководитель, инженер 13 категории, инженер 10 категории.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- Отчисления по страховым взносам - 30% от ФОТ

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	- Планирование выполнения проекта, - Расчет бюджета затрат на проектирование, в том числе расчет капитальных вложений в основные средства
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка
2. Календарный план – график проведения НИОКР
3. График проведения ПНР

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

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Попова С.Н.			

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г3А2	Рахманов Хасан Эркин угли		

### **3.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Темой дипломного проекта является разработка электропривода маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана. Разработка и внедрение электропривода постоянного тока необходимы для обеспечения требуемых показателей работы маятниковых ножниц, предъявляемых технологическим процессом, позволяют добиться необходимой точности и скорости выполнения реза, что приводит к увеличению производительности и исключению брака из-за недостаточной точности реза. Разработка проекта предполагает использование специализированного программно-технического комплекса и основано на построении математической модели рассматриваемого участка производства.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является оценка эффективности проекта, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести комплексный анализ проекта с позиции коммерческого потенциала;
- провести конкурентный анализ вводимого в эксплуатацию оборудования;
- осуществить планирование этапов выполнения проекта;
- рассчитать бюджет разрабатываемого проекта;
- произвести оценку ресурсной и экономической эффективности исследования.

### 3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

#### 3.1.1 Коммерческий потенциал проекта

Заказчиком проекта является ОАО “ЕВРАЗ ЗСМК”. В рамках работы разрабатывается электропривод для маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана 850/730/580 блюминга ОАО “ЕВРАЗ ЗСМК”.

В дальнейшем результаты могут быть использованы как основа для типовых проектов по модернизации и разработке электропривода маятниковых ножниц на различных металлургических предприятиях, поэтому можно говорить, что в дальнейшем проект имеет коммерческий потенциал.

#### 3.1.2 SWOT-анализ проекта

SWOT– Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для проведения комплексного анализа проводимого исследования выделим несколько этапов:

1. Описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта.

Таблица 11 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны проекта:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Универсальность применения разрабатываемых математических моделей;</li><li>2. Наличие опытного научного-руководителя;</li><li>3. Актуальность про-</li></ol>	<b>Слабые стороны проекта:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Возможность появления новых методов;</li><li>2. Требуется тщательного сбора исходных данных;</li><li>3. Многостадийность методики.</li><li>4. Требуется уникального оборудования</li></ol>
--	---	--

Продолжение таблицы 11

	<p>водимого исследования</p>	
	<p>4. Невысокая стоимость проекта относительно иностранных компаний при конкурентной надежности разработки</p> <p>5. Широкая сфера применения</p>	<p>5. Иностранцы конкуренты обеспечивают чуть более высокие показатели эффективности</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность создания партнерских отношений с рядом производственных металлургических предприятий;</li> <li>2. Большой потенциал применения метода математического моделирования динамических процессов;</li> <li>3. Большая стоимость конкурентных разработок ;</li> <li>4. Рост потребности в обеспечении безопасности технологического процесса и сокращения экономических издержек.</li> <li>5. Возможность доработки проекта и изменения его под конкретные нужды потребителя</li> </ol>	<p>Актуальность разработки, дает возможность сотрудничать с рядом производственных металлургических предприятий;</p> <p>Рост потребности в обеспечении безопасности технологического производственного процесса и сокращения экономических издержеквозможен за счет принципиально новой методики.</p>	<p>Появление новых методов может снизить коммерческий потенциал использования результатов проектирования и метода математического моделирования динамических процессов.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Развитая конкуренция в сфере математического моделирования технологических процессов металлургических производств</li> <li>2. Захват внутреннего рынка иностранными компаниям</li> </ol>	<p>Универсальность применения разрабатываемых математических моделей и обширная сфера применения программного комплекса минимизируют влияния развитой конкуренции в обозначенной сфер</p>	

Продолжение таблицы 11

<p>3. Малые скорости внедрения</p> <p>4. Несвоевременное финансовое обеспечение</p> <p>5. Вероятность доработки проекта для получения необходимых показателей работы</p>	<p>дителя обеспечивают выход на внутренний рынок</p>	
--	--	--

2. Выявление соответствия сильных и слабых сторон научно – исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 12 - Интерактивная матрица проекта (возможности – сильные стороны)

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	+	0	0	+
	B3	-	-	+	+	+
	B4	0	-	+	0	+
	B5	0	+	+	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C1C2C3C4C5, B2C1C2C5, B3C3C4C5, B4C3C5, B5C2C3

Таблица 13 - Интерактивная матрица проекта (возможности – слабые стороны)

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	V1	+	0	-	-	+
	V2	+	-	-	-	-
	V3	0	-	0	-	0
	V4	0	-	-	0	-
	V5	0	0	0	0	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: V1Сл1Сл5, V2Сл1, V5Сл5.

Таблица 14 - Интерактивная матрица проекта (Угрозы – сильные стороны)

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	0	0	-	0
	У2	+	0	-	+	0
	У3	0	-	0	0	0
	У4	0	-	0	+	0
	У5	0	+	0	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1С1, У2С1С4, У4С4, У5С2.

Таблица 15 - Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	0	-	0	-
	У2	-	-	0	-	-
	У3	-	0	0	0	0
	У4	0	-	-	-	-
	У5	-	-	0	0	0

Коррелирующие слабые стороны и угрозы не выявлены.

Вывод: заявленная методика имеет большой потенциал, широкий круг потенциальных потребителей, а также возможность выхода на внутренний рынок.

### 3.1.3 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (см. табл.6).

При разработке электропривода для маятниковых ножниц разработчик руководствовался следующими соображениями: для механизма маятниковых ножниц необходимы широкий диапазон регулирования, высокая точность и быстроедействие. Поэтому наиболее рационально использовать систему питания на постоянном токе. Рассматривались варианты использования преобразовательных устройств: транзисторный преобразователь – двигатель и тиристорный преобразователь – двигатель.

1. Комплектный тиристорный преобразователь КТЭ 1600/930Е-100-04-00000-УХЛ4—номинальное выпрямленное напряжение – 930 В, номинальный выпрямленный ток – 1600 А; Стоимость – 860000 руб.;

2. Привод постоянного тока ABBDCS-800-S01-2050-06/07 - номинальное выпрямленное напряжение – 690 В, номинальный выпрямленный ток – 1625 А; Необходимо дополнительно приобретать модуль для связи с контроллером; Стоимость – 11787000 руб.;
3. Привод постоянного тока SimoregDCMaster6RA7093-4GS22-0 - номинальное выпрямленное напряжение – 690 В, номинальный выпрямленный ток – 1600 А; Необходимо дополнительно приобретать модуль для связи с контроллером; Стоимость – 1352800 руб.;

Производим выбор варианта с использованием метода экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: *технические* – производительность, помехозащищенность, точность, плавность протекания процессов, степень стандартизации и унификации, удобство управления, шум при работе и *экономические* – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

По выбранным критериям с помощью экспертов необходимо присвоить коэффициент весомости, отражение их важности.

По каждому критерию необходимо установить оценку степени обеспечения:

Таблица 16 - Оценка степени обеспечения

Цели	низкий	средний	высокий (выше средней)
Уровень цели Оценка обеспечения цели	1.0	0.5	0

Таблица 17 - Сравнительная характеристика электроприводов

Критерии оценки		Баллы	примечание
-----------------	--	-------	------------

	Вес критерия	1	2	3	
1	2	3	4	5	4
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Производительность	1	0	0	0	
2. Помехозащищенность	0,5	0	0	0	
3. Точность	0,5	0	0	0	
4. Плавность протекания процессов	0,5	0	0	0	
5. Удобство встройки	0,2	0	0,5	0,5	Дополнительные затраты на модуль связи
6. Степень стандартизации унификации	0,3	0	0,5	1	Специальный модуль связи
7. Удобство управления	0,5	0,5	0	0	
8. Шум при работе	0,1	0,5	0	0	3-й комплект имеет лучшие показатели, т.к. ПЧ и АД одного производителя
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
9. Капитальные вложения	1	0	0,5	0,5	
10. Затраты на эксплуатацию	0,8	0	0	0	
11. Надежность	0,8	0,5	0	0	
<b>Итого</b>		<b>0,7</b>	<b>0,75</b>	<b>0,9</b>	

Несмотря на то, что привода 2 и 3 немного надежнее и удобнее в управлении, привод 1 так же удовлетворяет всем требованиям, а стоит намного дешевле своих конкурентов. Выбираем комплектный тиристорный электропривод КТЭ 1600/930Е-100-04-00000-УХЛ4.

### 3.2 Планирование проектных и пуско-наладочных работ

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

#### 3.2.1 Планирование проектных работ

Этапы и содержание НИР сведены в таблицу 18.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в график, таблица 19.

Таблица 18 - Этапы проектирования

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Разработка технического задания	1.1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
2. Выбор системы управления электроприводом	2.1	Выбор наиболее эффективного варианта САУ для управления электроприводом	Инженер
3. Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	3.1.	Расчет мощности двигателя	Инженер
	3.2.	Расчет момента инерции	Инженер
	3.3.	Выбор преобразователя	Инженер
	3.4.	Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала. Оптимизация контуров	Инженер
	3.5.	Разработка электрической схемы привода.	Инженер
	3.6.	Анализ результатов	Руководитель, инженер
4. Моделирование работы привода	4.1.	Разработка программы исследований модели	Руководитель, инженер
	4.2.	Создание имитационной модели в среде Simulink программы Matlab	Инженер
	4.3.	Исследование нелинейной САУ СЭП подчиненного регулирования	Инженер
	4.4.	Исследование нелинейной САУ СЭП в заданных режимах работы	Инженер
5. Обобщение и оценка результатов	5.1	Оценка результатов. Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер

Таблица 19 - График выполнения работ

Наименование работ	Исполнитель	Срок выполнения	Коэффициент загрузки
1 Разработка технического задания	Руководитель проекта	16.04.2016	0,9
	Инженер-разработчик		0,1
2 Выбор системы управления электроприводом	Руководитель проекта	С 17.04.2016 по 19.04.2016	0,1
	Инженер-разработчик		0,9
3 расчет параметров, выбор двигателя и преобразователя	Руководитель проекта	С 20.04.2016 по 06.05.2016	0,2
	Инженер-разработчик		0,8
4 Моделирование работы привода	Руководитель проекта	С 07.05.2016 по 17.05.2016	0,3
	Инженер-разработчик		0,7
5 Обобщение результатов и сдача проекта	Руководитель проекта	С 18.05.2016 По 20.05.2016	0,5
	Инженер-разработчик		0,5

### 3.2.2 Планирование пуско-наладочных работ

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

Комплекс работ разобьем на этапы и определим в процентном соотношении объем выполнения работ по каждому этапу. Результаты сведены в таблицу 20.

Таблица 20 – Содержание этапов ПНР

№	Этапы ПНР	Время выполнения, %
1	Подготовительные работы	10
2	Проверочные работы	20
3	Наладочные работы	50
4	Комплексное опробование	15

Продолжение таблицы 20

5	Оформление отчетной и приемно-сдаточной документации	5
Итого		100

При выборе состава и численности бригады следует руководствоваться условиями:

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

Из вышеперечисленного следует приблизительный состав бригады:

- 1) Инженер 1-ой категории;
- 2) электромонтер 6-го разряда;
- 3) электромонтер 6-го разряда;

Распределение работ среди членов бригады производится бригадиром в соответствии с профессиональной специализацией каждого. Продолжительность выполнения отдельных этапов работ определяется из профессионального опыта проведения аналогичных видов работ бригадой. Сроки исполнения и исполнители отдельных видов работ приведены в таблице 21.

Таблица 21 - Выполнение пуско-наладочных работ

Наименование работ	Исполнители	Часы
1	2	3
1. Подготовительный этап:	1,2,3	8
- ознакомление с проектом, выявление неточностей;	1,2,3	5
- составление рабочего графика проведения ПНР;	1,2,3	4
- подготовка аппаратуры и инструмента;		
- внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности;	1,2,3	3
- определения состояния технических характеристик	1,2,3	4

Продолжение таблицы 21

Итого по п.1	30
--------------	----

2.Проверочные работы:		
- проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта;	1,2,3	12
- проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик;	1,2,3	14
- проверка правильности выполнения схем;	1,2,3	12
- проверка работы электрических систем, блокировок и автоматики.	1,2,3	22
Итого по п.2	60	
3.Наладочные работы:		
- фазировка трансформатора опорных напряжений;	1,2,3	15
- наладка и настройка СИФУ;	1,2,3	22
- проверка работы и функционирование блоков сигнализации и защиты;	1,2,3	13
- проверка датчиков тока и напряжения;	1,2,3	12
- проверка диапазона изменения напряжения преобразователя;	1,2,3	21
- настройка устройства задания скорости;	1,2,3	18
- итоговая проверка защиты;	1,2,3	16
- настройка и снятие необходимых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического процесса;	1,2,3	34
- испытание оборудования в холостую.	1,2,3	10
Итого по п.3	161	
4.Комплексное опробование:		
- обеспечение взаимных связей устройств в составе электрической установки;	1,2,3	15
- согласование входных и выходных параметров характеристик отдельных механизмов;	1,2,3	24

Продолжение таблицы 21

- проверка режимов ЭП при управлении с пульта управления.	1,2,3	6
---	-------	---

Итого по п.4	45	
5.Оформление документации: - составление протоколов ПНР; - внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время ПНР.	1	6
	1	9
Итого по п.5	15	
Итого	311	

График выполнения пуско-наладочных работ согласно таблице представлен на рисунке 30.

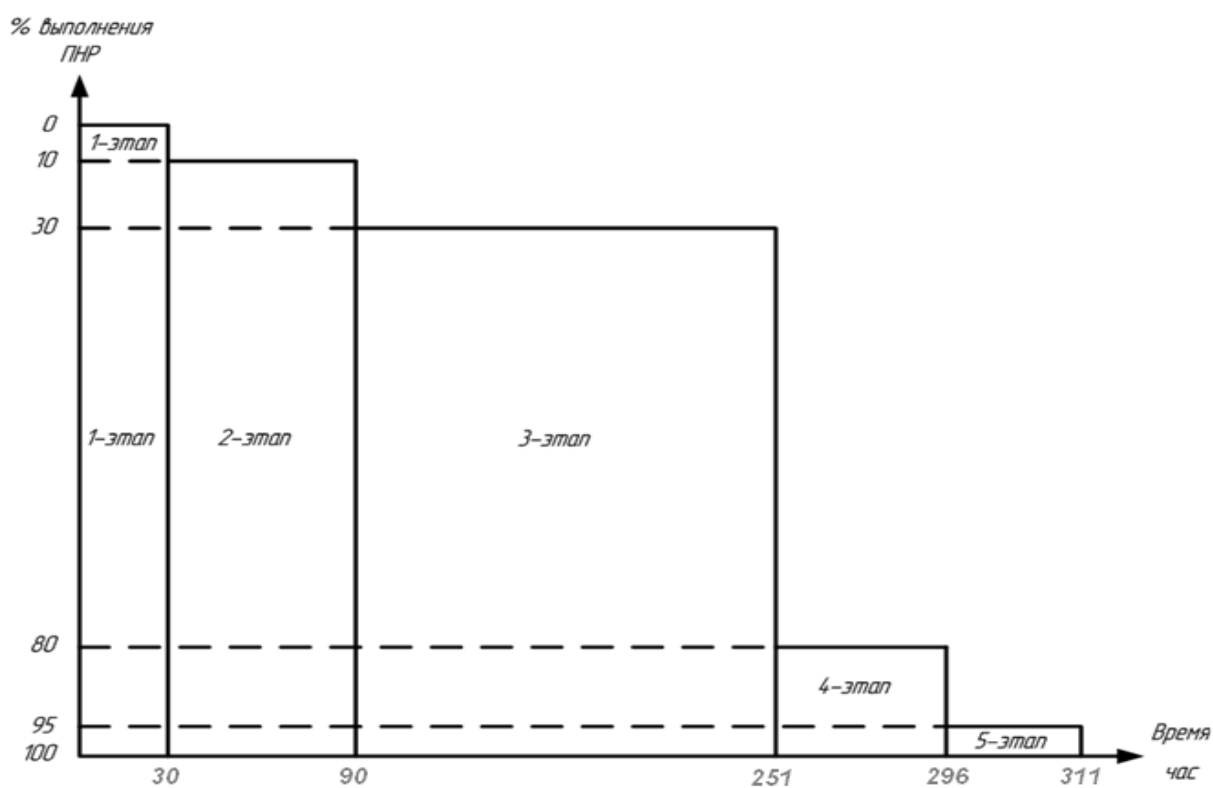


Рисунок 30 - График выполнения пуско-наладочных работ

### 3.3 Расчет бюджета проекта по внедрению частотного электропривода

#### 3.3.1 Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}} = \frac{1100 \cdot 3725 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,7}{0,95 \cdot 0,93} = 1168726,65 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где

$P_{\text{уст}}$  – мощность установленного оборудования, 1100 кВт;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования, 3725 часов, автоматические линии в 2 смены;

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

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

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

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

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

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \cdot C_{\text{э}} = 1168726,65 \cdot 3,52 = 4113917 \text{ руб/год}$$

где  $C_9=3,52$  руб. – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий.

### 3.3.2 Заработная плата персонала

Все работы производятся в строгом соответствии с нормами их проведения. Цены на пуско-наладочные работы содержат только основную заработную плату пуско-наладочного персонала, рассчитанную на основе тарифных ставок и среднемесячных должностных окладов без премий.

Стоимость основного оборудования поставляемого ЗАО «ТяжПромСервис» приведена в таблице 22.

Таблица 22 - Стоимость основного оборудования.

№	Наименование	тип	кол	Цена, руб	Стоимость, руб
I	Оборудование				
1	Комплектный тиристорный электропривод	КТЭ – 1600/930E	1	860000,00	860000,00
2	Автоматический выключатель	A3712	1	3500,00	3500,00
3	Пускорегулирующая аппаратура		1	31720,60	31720,60
44	Общая сумма				895220,6

Сметная стоимость пусконаладочных работ включает в себя:

1. затраты на основную заработную плату;
2. затраты на дополнительную заработную плату;
3. затраты на отчисления в социальные фонды.
4. накладные расходы.

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

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

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

Заработная плата составит:

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

где Т – тарифная ставка, руб.;

Ч – количество отработанного времени, час.

Затраты на основную заработную плату представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Основная заработная плата

Состав бригады	Разряд	Часовая ставка, руб.	Количество отработанных часов	Заработная плата, руб.
Инженер 1-ой категории	6	140	311	80940,9
электромонтер	6	124	296	68232,74
электромонтер	6	124	296	68232,74
Итого				217406,4

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

$$З_{дон} = 0,15 \times З = 0,15 \times 217406,4 = 32610,95 \text{руб.}$$

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

$$Ocf = (3 + 3don) \times 0,30 = (217406,4 + 32610,95) \times 0,30 = 75005,21 \text{руб.}$$

Накладные расходы составляют 60% от основной заработной платы:

$$H = 3 \times 0,6 = 217406,4 \times 0,6 = 130443,8 \text{руб.}$$

Прочие затраты составят 2% от основной заработной платы:

$$П = 3 \times 0,02 = 217406,4 \times 0,02 = 4348,1 \text{руб.}$$

Таблица 24 - Смета затрат

№ п/п	Статья затрат	Сумма, руб.
1	Оборудование и комплектующие	895220,6
3	Основная заработная плата	217406,4
4	Дополнительная заработная плата	32610,95
5	Отчисления в социальные фонды	75005,21
6	Накладные расходы	130443,8
7	Прочие расходы	4348,1
8	Итого	1355035,1

### 3.3.3 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

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

где К- капитальные затраты;

Н- норма амортизационных отчислений (Н=12%)

$$A_{\text{год}} = \frac{1355035,1 \times 12}{100\%} = 162604,2 \text{руб.}$$

### 3.3.4 Затраты на эксплуатацию и текущий ремонт

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

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

$$З_{\text{год}} = \frac{1355035,1 \times 6}{100\%} = 81302,1 \text{ руб.}$$

### 3.3.5 Общая сумма эксплуатационных расходов

Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из затраты на силовую энергию  $C_{\Sigma}$ , годовых амортизационных отчислений  $A_{\text{год}}$  и зарплаты обслуживающего персонала  $З_{\text{ПЕР}}$ .

$$P_{\Sigma} = C_{\Sigma} + A_{\text{год}} + Z_{\text{год}} + Z_{\text{ПЕР}} = 4113917 + 162604,2 + 81302,1 + 217406,4 = 4575229,7$$

(руб/год)

Общая сумма эксплуатационных расходов составила 4575229,7 (руб/год).

## 3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

### 3.4.1 Интегральный финансовый показатель

Определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения включая ПНР

$$\Phi_{p1} = 860000 + 1355035 = 2215035 \text{ руб}$$

$$\Phi_{p2} = 1178700 + 1355035 = 2533735 \text{ руб}$$

$$\Phi_{p3} = \Phi_{\text{max}} = 1352800 + 1355035 = 2707835 \text{ руб}$$

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость всего проекта

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{2215035}{2707835} = 0,82$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{2533735}{2707835} = 0,93$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{2707835}{2707835} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах.

### 3.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определяется следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 25).

Таблица 25 – Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии / Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 Комплектный тиристорный преобразователь	Исп.2 Привод постоянного тока АВВ	Исп.3 Привод постоянного тока Simoreg
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	5
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	3
4. Энергосбережение	0,20	5	4	4
5. Надежность	0,25	4	5	5
6. Материалоемкость	0,15	5	3	7
ИТОГО	1	4,45	4,35	4,5

### 3.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

( $I_{исп.1}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр.1}} = \frac{4,45}{0,82} = 5,43$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = \frac{4,35}{0,93} = 4,67$$

$$I_{\text{исп.3}} = \frac{I_{\text{р-исп3}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}}} = \frac{4,5}{1} = 4,5$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 26) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ):

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.1}}} = \frac{5,43}{5,43} = 1$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{исп.2}}}{I_{\text{исп.1}}} = \frac{4,67}{5,43} = 0,86$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{исп.3}}}{I_{\text{исп.1}}} = \frac{4,5}{5,43} = 0,83$$

Таблица 26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,82	0,93	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	4,35	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	5,43	4,67	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,86	0,83

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на первый вариант исполнения - Комплектный тиристорный преобразователь КТЭ 1600/930Е-100-04-00000-УХЛ4, стоимостью – 860 000 руб., , как наиболее эффективный.

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1. Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта на примере SWOT-анализа, результат которого показал рациональность разработки, а также возможность использования результатов проектирования для выхода на внутренний рынок. Проведен конкретный анализ, в ходе которого в качестве преобразователя выбран комплектный тиристорный преобразователь КТЭ 1600/930Е-100-04-00000-УХЛ4, т.к. у данного преобразователя оптимальные технические показатели при выгодной стоимости.

2. Определен полный перечень работ, проводимых при разработке проекта и пуско-наладке оборудования. Определена трудоемкость проведения проектных и пуско-наладочных работ. Общая максимальная длительность выполнения работ составит 72 календарных дня.

Суммарный бюджет затрат составил – 1355035,1 рублей. Расчет бюджета осуществлялся на основе следующих пунктов:

- Оборудование и комплектующие;
- основная и дополнительная заработная плата обслуживающего персонала и бригады ПНР;
- отчисления в социальные фонды;
- накладные расходы;
- прочие расходы.

Проведенные в данном разделе работы позволили объективно оценить эффективность проектирования и выбрать наиболее выгодные варианты оборудования с точки зрения ресурсоэффективности.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗА2	Рахманов Хасан Эркин угли

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Маятниковые ножницы предназначены для зачистки головной и донной части раската на ходу или с остановкой, а также для аварийного отрезания части раската на ходу при нарушении технологического режима в чистовой группе, клетей. Регулируемый электропривод маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана</p>
---	--

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p>	<p>Основными вредными факторами являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций);</li> <li>– Шум;</li> <li>– Вибрация;</li> <li>– Отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны.</li> </ul> <p>Опасными факторами являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Возможность получения травм в следствии:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>а) движения машин и механизмов;</li> <li>б) высокая температура;</li> <li>в) выброс горячего шлака из-под зажигательного горна;</li> </ul> </li> <li>– Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Анализ воздействия на литосферу: образование отходов, связанных с заменой комплектующих, с окончанием срока эксплуатации данного оборудования.</p>

<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Разработка превентивных мер и действий во время ЧС, а также мер по ликвидации ее последствий для следующей ЧС: – Пожар.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Организационные вопросы обеспечения безопасности в рабочей зоне для электромонтера по ремонту и обслуживанию электроустановок.

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Рахманов Хасан Эркин угли		

## 4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Открытое акционерное общество "Западно-Сибирский металлургический комбинат" является одним из крупнейших предприятий данной отрасли России. Широкое внедрение передовой современной техники, дальнейшая механизация и автоматизация производственных процессов, а так же осуществление мероприятий по технике безопасности и охране труда, повышение безопасности жизнедеятельности рабочих являются основными направлениями дальнейшего снижения травматизма и заболеваемости на предприятии. Обеспечение безопасности труда – необходимое важнейшее условие любого технологического процесса. Это особенно важно в цеху, где применяется механическое и электрическое оборудование, а также технологический процесс сопровождающейся обильным выделением тепла, газов, образованием пыли и шлаков, которые оказывают вредное воздействие на организм человека.

### 4.1 Производственная безопасность

К опасным факторам при наладке электропривода маятниковых ножниц относятся:

- высокая температура;
- наличие движущихся агрегатов и механизмов;
- поражение электрическим током.

К вредным факторам при наладке электропривода относятся:

1. Производственный шум – от работы различных механизмов, шум трансформатора, шум работающих кранов.
2. Освещенность-отсутствие или недостаток естественного света, недостаток освещенности рабочей зоны.
3. Запыленность.
4. Тепловое излучение

#### *Шум и методы защиты*

Для прессовых операций характерен высокий уровень звука, достигающий 89...107 дБ. Продолжительное воздействие при работе прессовки т.п. оказывает

чрезвычайно вредное воздействие не только на органы слуха, но и на нервную систему обслуживающего персонала. Ожидаемый уровень звука при применении данной технологии не должен превышать 80дБ (СН 2.2.4/2.1.8.562-96), поэтому специальные средства для понижения шума не применяются. Оборудование, издающее большой шум, рекомендуется размещать в изолированных помещениях.

#### *Вибрация и методы защиты*

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с вибро-опасными механизмами и оборудованием, "Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий". Документы устанавливают: классификацию вибраций, методы гигиенической оценки, нормируемые параметры и их допустимые значения, режимы труда лиц вибро-опасных профессий, подвергающихся воздействию локальной вибрации, требования к обеспечению вибро безопасности и к вибрационным характеристикам машин.

Стандарт устанавливает номенклатуру параметров, необходимую для выбора средств защиты и расчета систем вибрационной защиты. Параметры могут быть экспериментальными и расчетными. Значения экспериментальных параметров определяются опытным путем непосредственно для конкретных средств защиты, значения расчетных параметров определяются расчетным путем, по характеристикам применяемых в конструкции средств защиты материалов, готовых деталей и сборочных единиц и т.д.

На данном рабочем месте, вибрация категории 3 «а» - технологическая, и для этого вида вибрационный эквивалентный скорректированный уровень виброскорости составляет 92 дБ.

#### *Освещенность и яркость рабочих поверхностей*

На рабочих местах применяется система комбинированного освещения – общее и местное, которое обеспечивает хорошую видимость делений на отсчетных и контрольно-измерительных приборах, а также обрабатываемых деталей.

Местное освещение осуществляется светильниками, устанавливаемыми на прессах.

Санитарными нормами установлены нормы освещения для кузнечно-штамповочного цеха 300 лк, общее локализованное освещение должно быть 500 лк, комбинированное 1500 лк.

Лампы должны быть оснащены осветительной арматурой. Для безопасности обслуживания светильников применяются приспособления по лестницы, стремянки, мостики с перилами.

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

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

К помещениям без повышенной опасности относятся сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха, с изолирующими (например, деревянными) полами, в которых отсутствуют заземленные предметы или их очень мало. К помещениям с повышенной опасностью относятся помещения:

- сырые, в которых относительная влажность воздуха длительно превышает 75%;

- жаркие, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура воздуха превышает постоянно или периодически (более 1 суток) 35°С;

- пыльные, с токопроводящей пылью, в которых по условиям производства выделяется токопроводящая технологическая пыль;

- с токопроводящими полами - металлическими, земляными, железобетонными, кирпичными и тому подобное, в которых возможно одновременное прикосновение человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и тому подобное, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования, с другой. К особо опасным относятся помещения:

- особо сырые, то есть помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100%,

- с химически активной или органической средой, содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования. Все операции производятся по инструкциям и правилам изложенным в следующих документах: "Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", "Строительные нормы и правила СНиП Ш.А.И-70", "Правила техники безопасности при электромонтажных и наладочных работах (ПТБЭМ)".

При напряжении до 1000 В предпочтение отдается четырех проводной сети с заземленной нейтралью для обеспечения электроснабжения ГЩУ. При прикосновении к одной из фаз сети человек попадает под фазное напряжение, а ток проходящий через него, равен частному от деления  $U_{\phi}$  на  $R_{\text{п}}$ . В аварийном режиме человек оказывается под воздействием линейного напряжения сети. Также источником электропоражения может являться появление потенциала на пульте вследствие повреждения изоляции аппаратуры или статического электричества на поверхности шкафов.

#### **4.2 Экологическая безопасность**

В процессе эксплуатации маятниковых ножниц возможно загрязнение окружающей среды смазочными материалами.

Для того чтобы исключить или минимизировать требуется, во-первых, проводить своевременные регламентные работы по техническому обслуживанию и ремонту кранов.

Во-вторых, оперативно, квалифицированно и своевременно ликвидировать источники загрязнения при их возникновении.

Что касается электроприводов, то они рассчитаны на длительный срок службы, по истечении которого должны быть утилизированы.

Утилизируемые электроприводы демонтируются, разбираются и сортируются по различным материалам: отходы электронных деталей, черные и цветные металлы, смазочные материалы.

При утилизации должны соблюдаться следующие правила:

-отсортированные материалы устраниются через упорядоченную систему утилизации, с соблюдением местных правил;

-при утилизации должны быть выдержаны нормы охраны окружающей среды;

-смазочные материалы представляют опасность загрязнения водных ресурсов, поэтому не должны попасть в окружающую среду.

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

Чрезвычайные ситуации могут быть вызваны природными факторами (наводнение, землетрясение), а также технологическими факторами (пожар, короткое замыкание, взрыв).

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 " Западно-Сибирский металлургический комбинат" 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, при малейших признаках пожара надо 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. Эвакуацию имущества следует производить только по распоряжению мастера или руководителя цеха.

### *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.

На стадии проектирования электропривода барабанных ножниц, учитываются требования соответствующих нормативных документов, регламентирующих меры пожарной профилактики. К таким документам относятся: СНиП «Противопожарные требования. Основные положения проектирования», СНиП «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования», ПТУСП («Противопожарные технические условия строительного проектирования») предприятий металлургической промышленности, «Правила пожарной безопасности в металлургической промышленности», нормы и правила устройства производственной вентиляции, отопления, электрического освещения и др.

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

- 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.

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

Безопасные условия труда обеспечиваются системой технических и организационных мероприятий, обученностью электротехнического персонала, знанием и выполнением правил техники безопасности в электроустановках промышленных предприятий.

Под техническими мероприятиями понимают, прежде всего, автоматизацию производственных процессов, дистанционное управление машинами и аппаратами, внедрение новой техники и новых, более совершенных процессов.

Под организационными мероприятиями предполагают, прежде всего, наличие «Правил безопасности в прокатном производстве».

На основании этих правил для каждого цеха, участка и рабочего места составляется инструкция по технике безопасности. Важной частью инструкции является инструкция по ликвидации аварий и места их возникновения, действия каждого инженерно технического работника и рабочего, пути спасения людей, застигнутых аварией.

Ни один работник прокатного производства не может быть допущен к работе без инструктажа по технике безопасности.

Виды инструктажей:

- вводный проводится в отделе техники безопасности,
- первичный проводит начальник цеха или его заместитель,
- периодический (повторный) проводится не реже двух раз в год;
- дополнительный (внеплановый) проводится при изменении технологического процесса, внедрении нового оборудования, а также нарушении инструкции по технике безопасности и несчастных случаях.

Специальный инструктаж проводится при кратковременном переводе работника на другую работу.

На каждого работающего заводится личная карта учета инструктажа, в которой делается отметка о каждом полученном инструктаже или проверке знаний по технике безопасности

В прокатном производстве существует отдел техники безопасности, возглавляемый заместителем главного инженера. Отдел техники безопасности совместно с общественными организациями ежегодно разрабатывают планы номенклатурных мероприятий по охране труда и технике безопасности. В план включаются такие важные мероприятия по оздоровлению условий труда, как механизация трудоемких операций, введение новых вентиляционных систем, ликвидация вредных выделений, улучшение естественного и искусственного освещения, расширение бытовых помещений и др.

Каждый работник прокатного производства должен знать, что современное производство представляет собой очень сложную систему, где все взаимосвязано. Даже небольшие, на первый взгляд, отступления от правил и инструкций, могут вызвать серьезные последствия не только для нарушителя, но и для окружающих его людей.

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работы в электроустановках, являются:

- а) оформление работы нарядом-допуском (далее нарядом), распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- б) допуск к работе;
- в) надзор во время работы;

г) оформление перерыва в работе, переводов на другое рабочее место, окончания работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа включает в себя проектирование и разработку электропривода маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана обжимного цеха .

В систему автоматического управления электроприводом ножниц входят: электродвигатель, преобразователь, передаточная и управляющая системы, представляющие вместе сложную электромеханическую структуру. Кроме того, на характер работы этой системы оказывает существенное влияние специфика прокатного производства, что дополнительно предъявляет целый ряд требований к системе электропривода маятниковых ножниц.

В результате проектирования разработан электропривод, полностью отвечающий требованиям технического задания и технологического процесса. Электромеханические характеристики системы преобразователь-двигатель в полной мере заполняют заданную область работы характеристик, проектируемого электропривода в плоскости координат  $\omega(I)$ . Статические характеристики замкнутой системы электропривода с П-регулятором положения, скорости (ЭДС) и ПИ-регулятором тока обеспечивают заданную точность поддержания скорости и значение максимального допустимого тока.

Динамические показатели качества работы СЭП во всём диапазоне регулирования скорости полностью удовлетворяют требованиям технического задания.

Электропривод маятниковых ножниц снабжён системой защит и сигнализации, обеспечивающей безаварийную и безопасную работу.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода. Составлена смета на проведение ПНР и график проведения ПНР.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства. Произведен расчет искусственного заземления.

## THE CONCLUSION

The final qualifying work includes designing and development of the electric drive bloom shears continuously - blooming mill of workshoppublic corporation "WSSW".

Into system of automatic control of the electric drive of scissors enter: the electric motor, converter, transfer and manager of systems representing together intricateelectromechanical structure. Besides on character of work of this system renders essential influence specificity of rolling manufacture, that in addition shows a lot of the requirements to system of the electric drive bloom shears.

As a result of designing the electric drive completely adequate the technical project and technological process is developed. The electromechanical characteristics of system to the full fill the converter - engine the given area of work of the characteristics, projected electric drive in a plane of coordinates $\omega(I)$ . The static characteristics of the closed system of the electric drive with a P-regulator of a regulations, the speeds (EMF) and PI-regulator of a current provide the given accuracy of maintenance of speed and meaningof the maximal allowable current.

The dynamic parameters of quality of work electric drive in all range of regulation of speed completely meet the requirements of the technical project.

The electric drive bloom shears is supplied with system of protection and signal system ensuring trouble-free and safe work.

In an economic part of final qualifying work the questions of planning, financing and realization of starting-up and adjustment works of the electric drive are considered. The estimate on realization starting-up and adjustment work and diagram of realization starting-up and adjustment work is made.

In section safety and ability to live of work the questions of protection of work and safety precautions are considered. The dangerous and harmful factors of manufacture are analysed. The account of artificial grounding is made.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам. Том 1. –М: Энергоатомиздат, 1988 г. 346 с.
2. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Том 3. –М: Metallurgy, 1988 г. –680 с.
3. Арманский Е.В., Прокофьев П.А., Фали Г.Б. Автоматизированный электропривод. –М: Высшая школа, 1987 г. –143 с.
4. Перельмутер В.М. Сидоренко В.А. Система управления тиристорными электроприводами постоянного тока. –М: Энергоатомиздат, 1988 г. –304 с.
5. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Учебное пособие для вузов. - Л: Энергоиздат, 1982 г.
6. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977 г. –400 с.
7. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие по курсу проектирования. Томск: Изд. ТПУ, 1991 г. –104 с.
8. Кояин Н.В., Удут Л.С., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2001 г. –156 с.
9. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 4. Тиристорный преобразователь для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие, –Томск: Изд. ТПУ, 2002 г. –152 с.
10. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: Высшая школа, 1997 г.
11. Крупович В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами. М.: Энергоатомиздат, 1982.

12. Королева Н.И. Техничко-экономические показатели при проектировании электроприводов: Методическое пособие.: Томск, 1993.
13. Ценник проведения пусконаладочных работ. 1986.
14. Кривцов Б.С. Охрана окружающей среды на металлургических предприятиях. М.: Энергия, 1986.
15. ГОСТ 12.1.012.-90. Вибрационная безопасность.
16. ГОСТ 12.1.003.-83. Шум. Общие требования безопасности.
17. П.А. Долин. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1984.
18. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Москва, 1998.
19. СНИП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
20. СНИП 23.05-95. Естественное и искусственное освещение.
21. Охрана труда в электроустановках. Под ред. Б.А. Князевского - М.: Энергоатомиздат, 1983.
22. СНИП 12.1.005.-88 Санитарные нормы промышленных предприятий.
23. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
24. СНИП ПДК.
25. СНИП 2.04.03.-85 Канализация. Наружные сети и сооружения.
26. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
27. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
28. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
29. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
30. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК

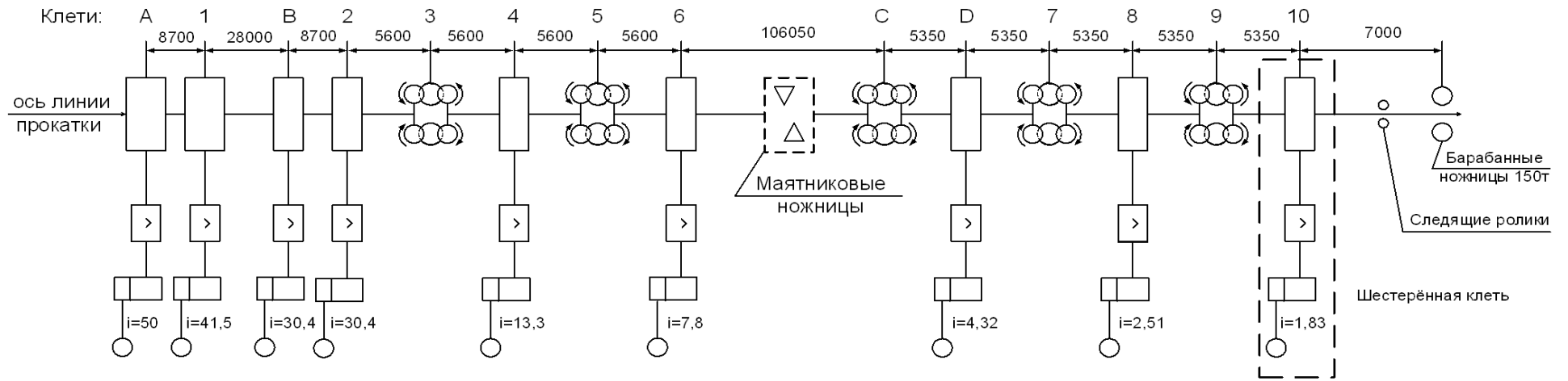
по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.:Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.

31. Перельмутер В.М. Комплектные тиристорные электроприводы. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.

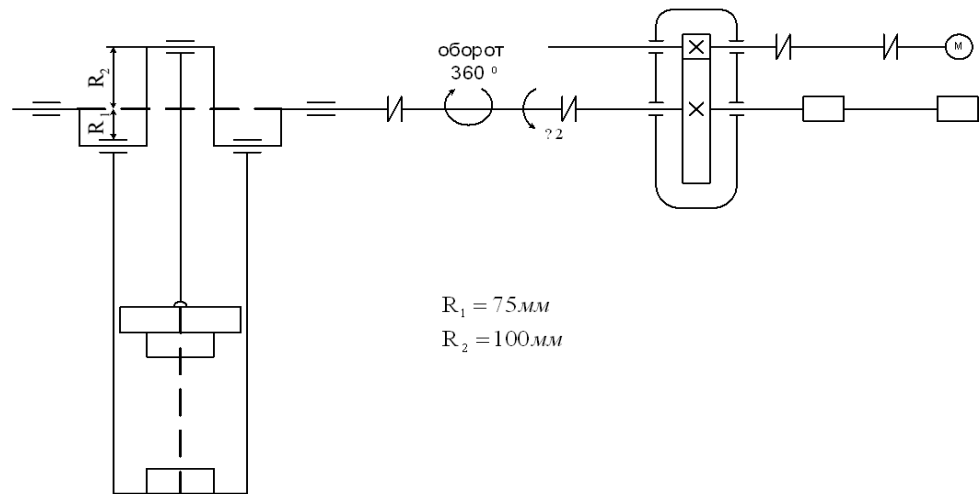
## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Графический материал

### Схема непрерывно - заготовочного стана



### Кинематическая схема маятниковых ножниц

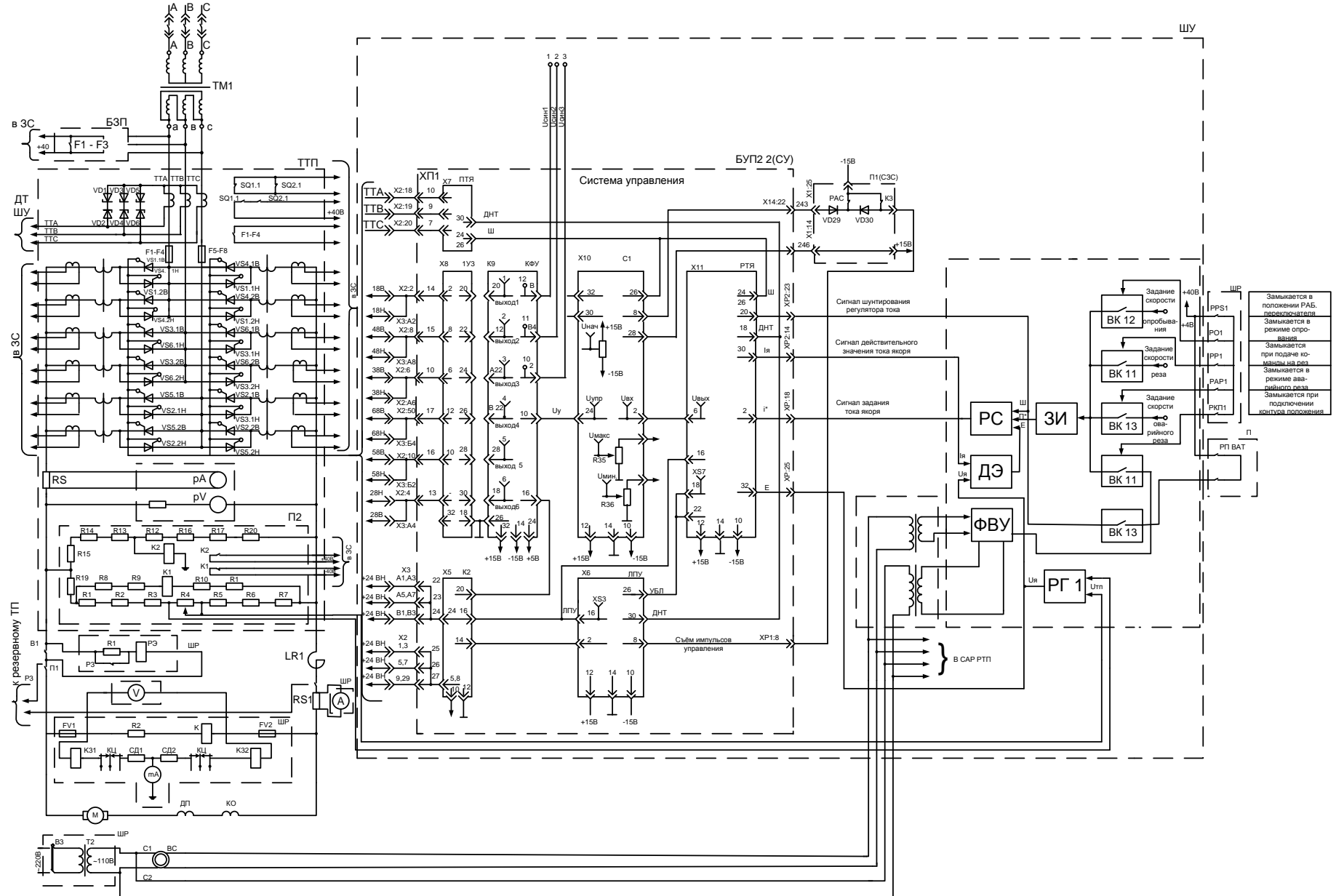


Клеть № п.п.	Размеры валков, мм	
	Диаметр валков	Длина бочки
A	850/770	1200
1	850/770	1200
B	850/770	1200
2	850/770	1200
3	730/660	900
4	730/660	1200
5	730/660	900
6	730/660	1200
C	730/660	900
D	730/660	1200
7	580/530	800
8	580/530	800
9	580/530	800
10	580/530	800

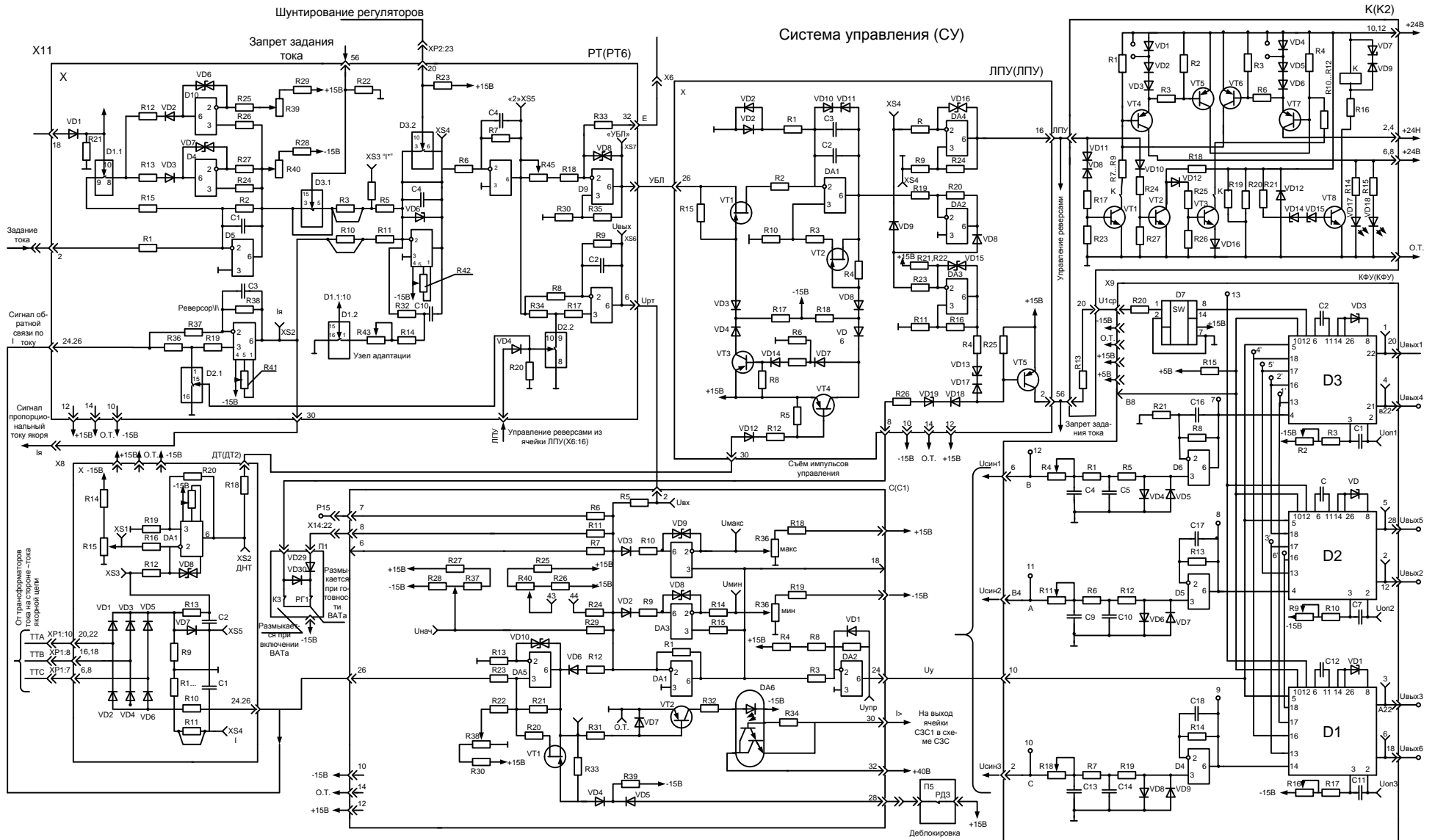




# Принципиальная схема электропривода маятниковых ножниц непрерывно заготовочного-стана

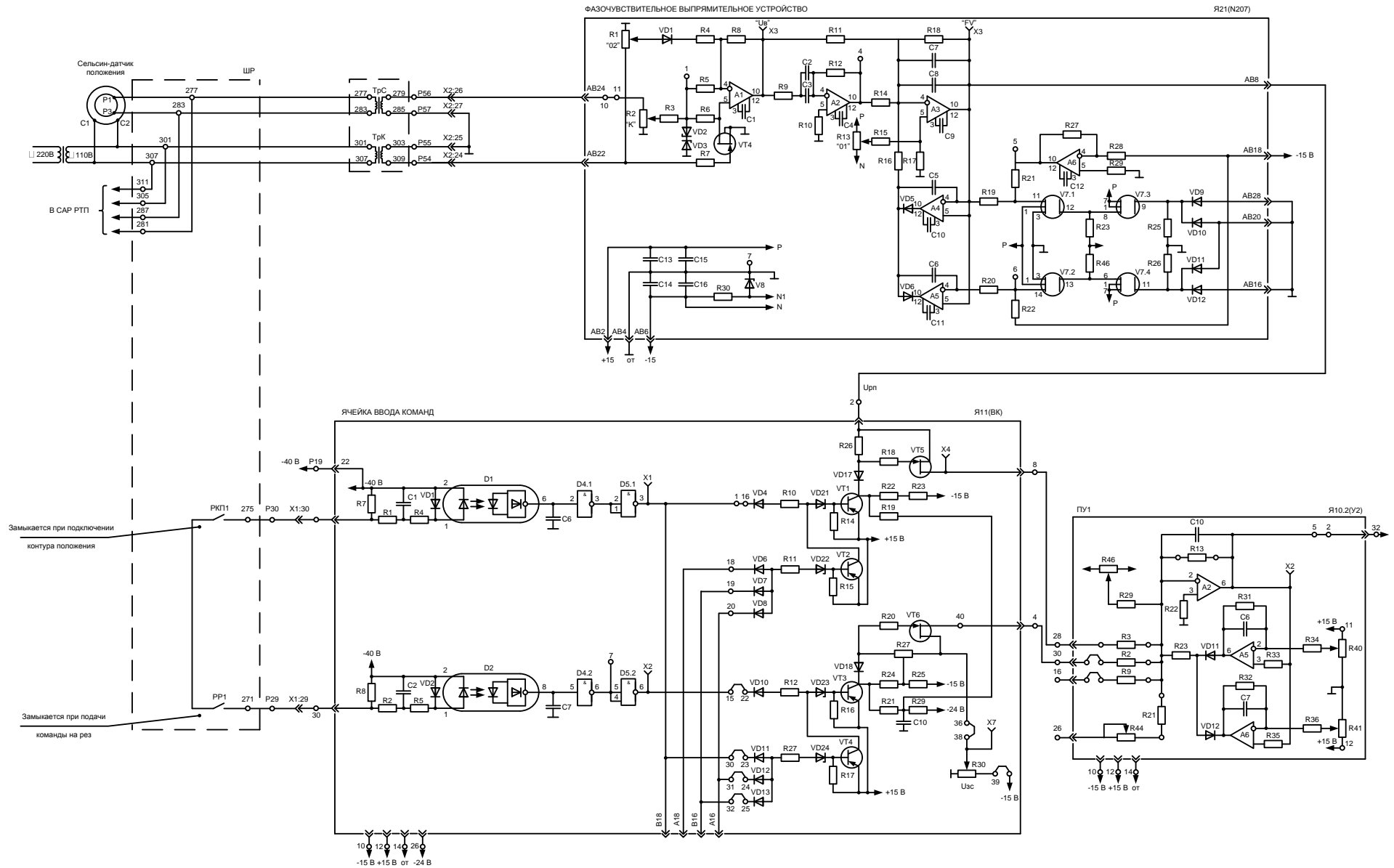


# Принципиальная схема электропривода маятниковых ножиц непрерывно заготовочного-стана

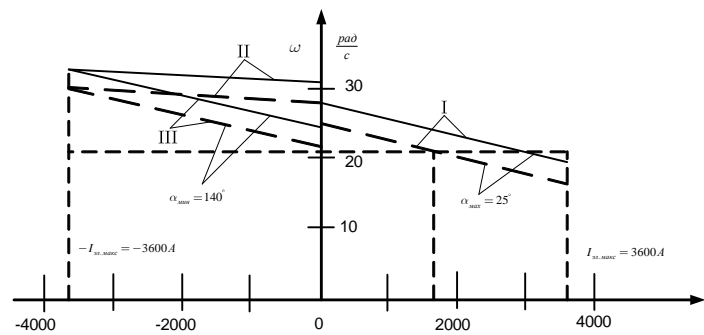




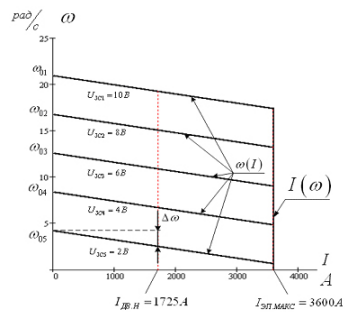
# Принципиальная схема электропривода маятниковых ножниц непрерывно заготовочного-стана



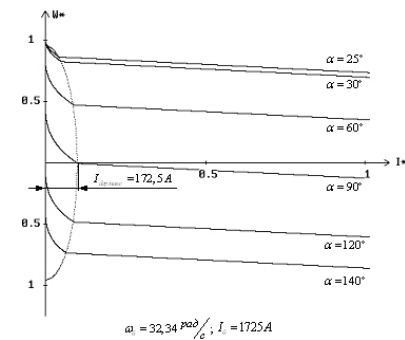
К 3И  
Ч.ФЮРА.31590.01.133.15



Заданная область работы и электромеханические характеристики разомкнутой системы ТП-Д



Статические характеристики замкнутой системы электропривода



Электромеханические характеристики системы УВ-Д

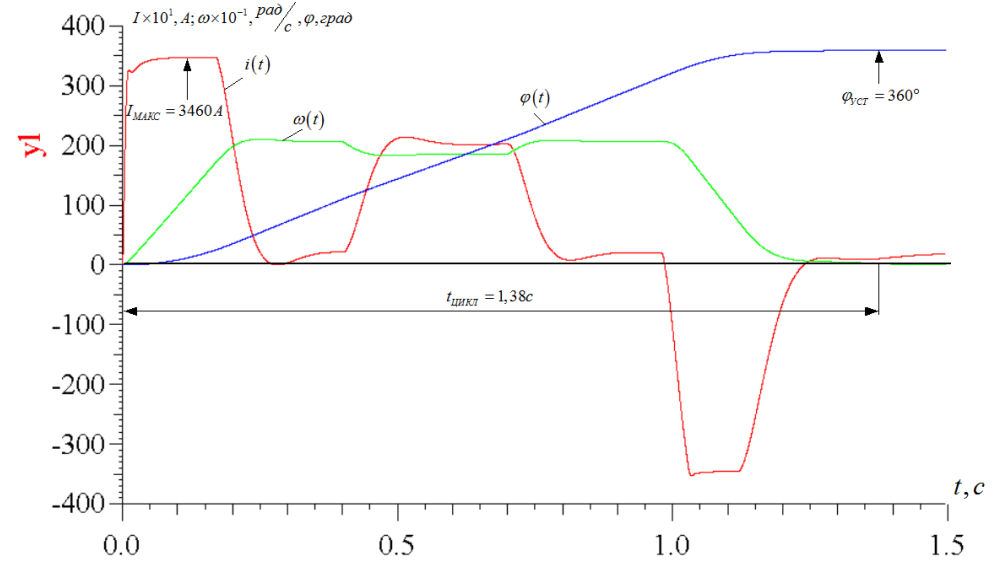
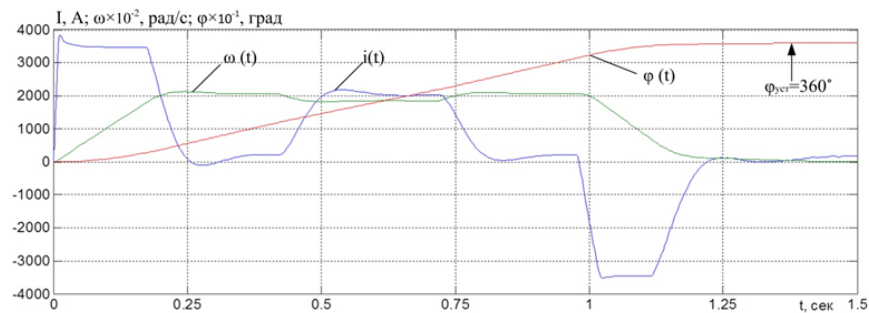
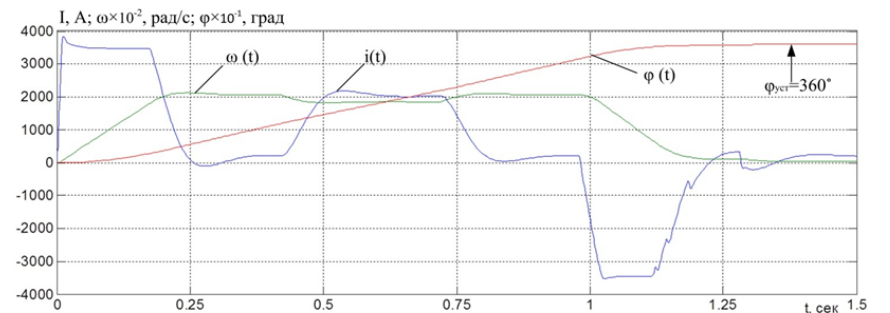


Диаграмма цикла работы электропривода маятниковых ножниц при резе металла



— Цикл работы маятниковых ножниц с энкодером на 4096 отсчетов/оборот



Цикл работы маятниковых ножниц с энкодером на 256 отсчетов/оборот

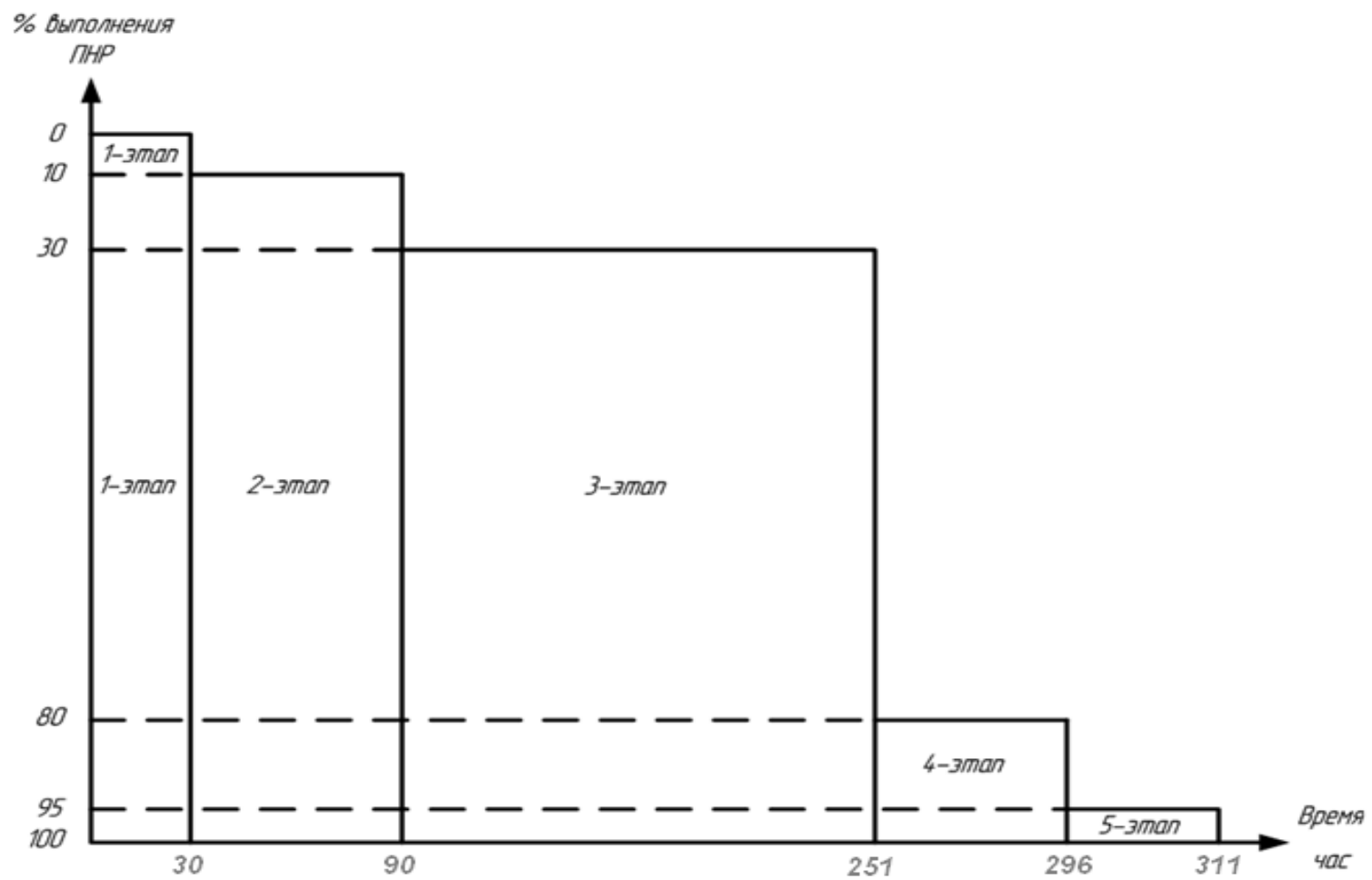


График выполнения ПНР