

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

Институт электронного обучения
Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
Кафедра электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана

УДК 62-83-52:621.771.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Журавлев Денис Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Родионов Георгий Владимирович			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук, доцент		

Томск – 2017 г.

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

Институт электронного обучения
 Направление подготовки – Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

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

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Журавлеву Денису Сергеевичу

Тема работы:

Электропривод маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1655/с от 09.03.2017г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; синтез и анализ 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.

Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.03.2017г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Родионов Г.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Журавлев Денис Сергеевич		

РЕФЕРАТ

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

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

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

Содержание	
РЕФЕРАТ	5
Введение	7
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ	10
1.1 Технологический процесс участка	10
1.2 Кинематическая схема маятниковых ножниц	11
1.3 Оценка и анализ вариантов исполнения электропривода	13
1.4 Обоснование функциональной схемы привода.	
Выбор основных элементов	16
2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	20
2.1 Выбор электродвигателя	20
2.2 Элементы силового оборудования маятниковых ножниц	26
2.2.1 Выбор тиристорного преобразователя цепи якоря	27
2.2.2 Расчет параметров якорной цепи	32
2.2.3 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик ЭП	32
2.2.4 Выбор тиристорного преобразователя цепи возбуждения	35
2.2.5 Расчет параметров цепи возбуждения двигателя	37
2.3 Расчет электромеханических характеристик реверсивного тиристорного преобразователя	39
2.4 Структурная схема силового канала САУ	42
2.5 Синтез линеаризованной структуры САУ	44
2.5.1 Линеаризованная структура САУ маятниковых ножниц	45
2.5.2 Оптимизация контура тока	47
2.5.3 Оптимизация контура ЭДС	50
2.5.4 Оптимизация контура положения	55
2.5.5 Настройка контура тока возбуждения двигателя САУ	58
2.6 Переходные процессы в нелинейной САУ	61
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	67
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
3.1 SWOT-анализ технического проекта	68
3.2. Планирование проведения работ технического проекта	71
3.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования	71
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	73
3.3 Разработка графика технического проектирования	75
3.3.1 Материальные затраты технического проекта	78
3.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы	79
3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	80
3.3.4 Накладные расходы	81
3.3.5 Формирование сметы технического проекта	81
3.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта	82
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	87
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	87
4.2 Техника безопасности	88

4.3 Производственная санитария	89
4.4 Расчет защитного заземления маятниковых ножниц	92
4.5 Пожарная безопасность	94
4.6 Охрана окружающей среды	96
Заключение	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	103
Приложение А	105

Введение

Черная металлургия считается одной из важных секторов экономики индустрии. Высочайшая механическая прочность и стойкость металлов черных, легкость их обработки сравнимо с иными сплавами, простота получения и огромные естественные припасы стальной руды определили самое обширное использование стали и чугуна, как главных начальных которые были использованы в машиностроении, станкостроении, электропромышленности, кораблестроении и прочих секторах экономики индустрии, также в сельском хозяйстве, строительстве, транспорте и в обиходе.

Из металлического литья и стали производят станки, производственные и сельскохозяйственные машинки, метизы (болты, гайки, гвозди, тросы) и др продукта. Повсеместно используется профильная высококачественная сталь, получаемая методом прокатки.

Основной видо обработки металлов давлением данное прокатка. Стали выплавляемой на уровне в пределах 75% на заводах металлургических, на прокатных станах обрабатываются и выпускается в виде проката готового: листов, профилей сортовых, труб и.т.п. (остальная часть 25% создана для производства стальных фасонных отливок и слитков кузнечных).

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

Блюминг -(англ. blooming)-мощный прокатный стан, назначенный для обжатий непростых слитков железных в болванки квадратные (блюмы). Используется кроме того для прокатки прямоугольной плоской болванки, идущей на создание листовой стали - слябов.

Современный прокатный стан характеризуется высочайшим уровнем производительности, механизацией трудозатратных дел и автоматизацией главных научно-технических действий. Подъем производительности прокатных станов и запасных устройств, увеличение свойства продукции, достижение больших скоростей прокатки и интенсификация обжатий стали вероятными в результате становления и широкого введения в прокатное создание идущих в ногу со временем систем эл-привода и автоматики.

Прогрессивные прокатные станы и механизмы предполагают образчик тесной связи частей систем, научно-технического процесса и автоматического эл-привода. В текущее время главным средством для приведения в перемещение рабочего органа машинки и управления ее научно-техническим ходом, считается электромеханическое прибор, именуемое электроприводом. Ни одно из металлургических компаний не имеет возможности ограничиться в отсутствии передовых электроприводов, неразрывно связанных с увеличением эффективности технологических процессов.

Диапазон регулировки высоких скоростей, скорость высочайшая позиционирования - прогрессивный промышленный электропривод данным характеризуется. Потому к нему предъявляются чрезвычайно высочайшие притязания по надежности и производительности.

Многообразие тех. требований к характеру и качеству автоматического перемещения вроде как обеспечило прогресс в сфере становления теоретическом развитие и практики эл-привода, а если взглянуть под другим углом - обилие систем эл-привода: от группового, для объектов с условно обычными перемещениями, до особых объектов со трудными и точными перемещениями до специальных объектов со сложными и точными движениями.

В данном дипломном плане представлен расчет эл-привода маятниковых ножниц непрерывно – заготовочного стана обжимного цеха Западно-Сибирского металлургического комбината.

Мысль создания 2 большого завода вблизи с Кузнецким металлургическим комбинатом появилась еще в годы первых пятилеток, хотя исключительно в 1950 году была замечена вероятность возвратиться к вопросу о стройке завода. В 1957 году правительством было подтверждено проектное задание на стройку Западно-Сибирского металлургического завода.

В 1963 году 1-ый объект строящегося великана - коксовая батарея вступила в строй работающих, ну а в 1964 году был получен 1-ый чугун.

В следующие годы на ЗСМК был построен ряд больших объектов, потому, беря во внимание трудную текстуру и сочетанный нрав производства, указом Министерства тяжелой металлургии СССР от 30 июня 1983 года завод реорганизован в Западно-Сибирский металлургический комбинат.

Все цеха комбината можно сгруппировать по основным производствам:

- коксохимическое направление производство;
- агломерационно-известковое направление производство;
- доменное направление производство;
- сталеплавильное направление производство;
- сталепрокатное направление производство;
- база ремонтная 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 работает для прокатки, в отсутствие добавочного прогрева блюмов с объемами сечений 350×350÷370×370 мм, в болванки объемами сечений 120×200; 150×200; 150×150 мм на I-ой группе клетей и объемами сечений 125×125; 100×100; 80×80 мм на II-ой группе клетей. Прокат делается последующих марок стали: углеродистых (кипящих, полуспокойных, размеренных) обычного свойства по ГОСТ 380-71, стали горячекатаной для армирования железобетонных систем по ГОСТ 5781-82, стали углеродистой высококачественной 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 металлической канатной по ГОСТ 1437-78.

В I-ой группе в последствии прокатки в клетки «А» и «1», раскат кантуется на 90 град. кантователем и проходит поочередно клетки «В», «2», «3», «4», «5», «6»(клетки «3» и «5»- вертикальные, другие горизонтальные). Приобретенный раскат сечением 150x150мм, 150x200мм, 165x200мм шлепперным приспособлением сервируется на обводную линию и транспортируется рольгангами номер 5, 6, 7 и 8 к летучим ножницам «400тн» для порезки на болванки протяженностью 4-12 мтр при скорости перемещения раската 2,3 2,5 м/сек и обрезки переднего и заднего концов раската длиной 150-300 мм.

Затем I-ой (предварительный) категории клетей, болванки, созданные для предстоящего переката на квадрат 80x80 мм либо 100x100 мм, транспортируются по рольгангу ко II-ой группе клетей: «С», «D», «7», «8», «9», «10», перед коей, если возникнет такая необходимость, случается отрезка концов на маятниковых ножницах.

В последствии прокатки раскат разрезается барабанными ножницами «150тн» на болванки протяженностью 10500 – 11800мм, которые клеймятся в торец клеймовочным приспособлением, намериваются в пакеты на

пакетирующем рольганге II-ой категории с косорасположенными роликами и транспортируются по рольгангам на морозильники склада.

1.2 Кинематическая схема маятниковых ножниц

Маятниковые ножницы созданы для зачистки головной и донной доли раската на ходу либо с остановкой, также для аварийного отрезания доли раската на ходу при несоблюдении научно-технического режима в чистовой группе клетей.

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

Плодотворно маятниковые ножницы являют из себя маятник, непринужденно подвешенный совместно с шатуном на эксцентриковом валу. Ножики установлены в некой плоскости на маятнике и шатуне.

В начальном положении маятник отклонен от вертикальной оси в сторону, обратную перемещению проката на угол 11 град.37 минут

При порезке проката на ходу ножики закусывают сплав и, совершая рез, перемещаются совместно с сплавом. Наибольший угол отклонения маятника от начального положения оформляет 24 град. 49 минут

Система ножниц предъявляет высочайшие притязания к быстродействию привода. Он обязан обеспечить резвый разгон, высшую установившуюся скорость и насыщенное торможение.

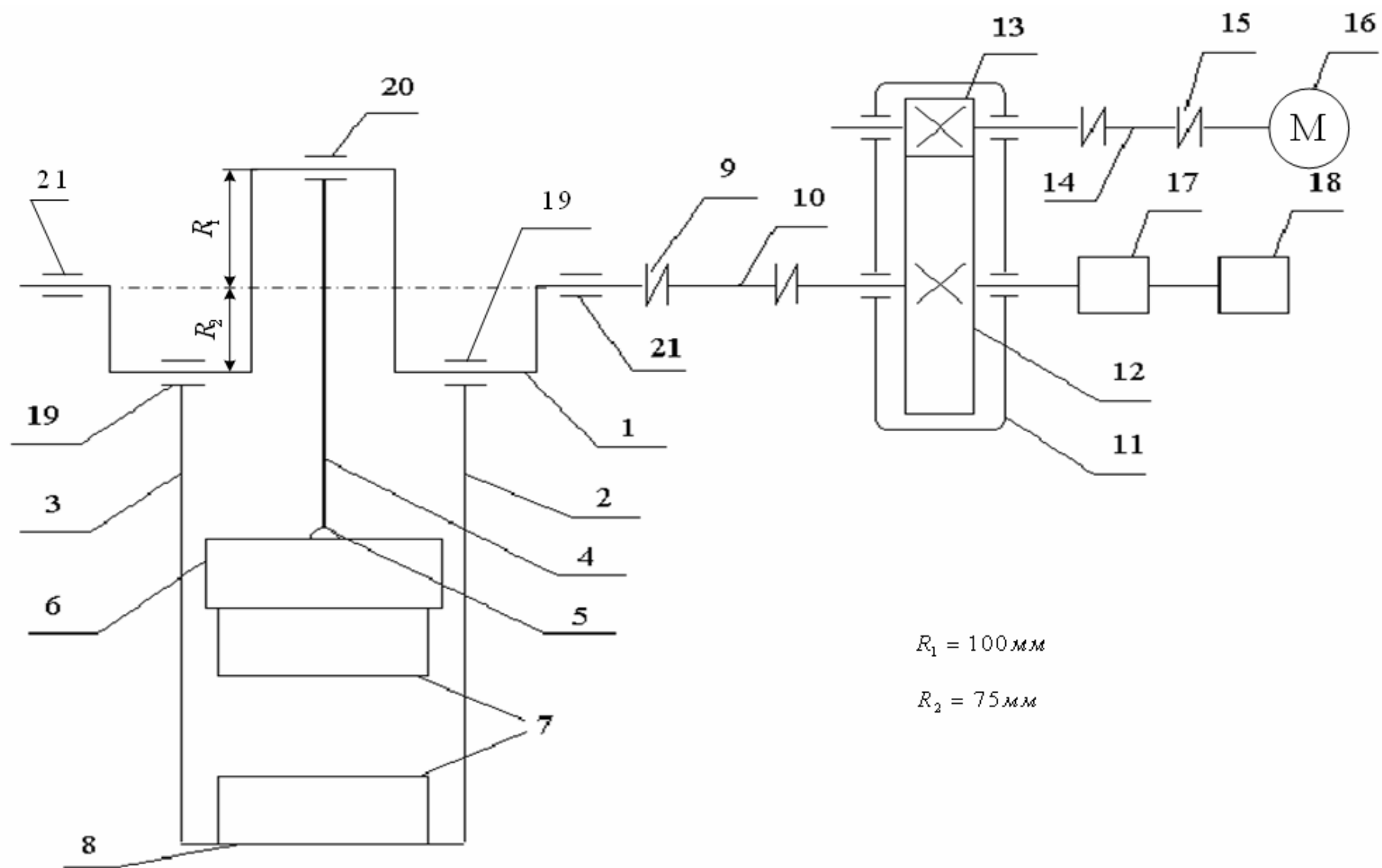


Рисунок 1-Кинематическая схема маятниковых ножниц

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

Подбор рода тока и вида электропривода выполняется с учетом единого линии обстоятельств, предъявленных к порядку деятельности и управлению исправным устройством.

С целью электропривода маятниковых ножниц более целесообразно употреблять концепцию питания в постоянном токе. Привод постоянного тока используется в аппаратах и аппаратах, в каком месте необходимо обширный интервал регулировки, большая точность и быстродействие. Привод переменного тока никак не имеет возможность удовлетворить условиям, предъявляемым к устройству.

Двигатель постоянного тока обладает следующими преимуществами:

- перегрузочная способность высокая, достигающая 2,5, 4 кратной уровня (у двигателей асинхронных она не превышает 2, 2,5 кратной уровня);
- наименьший момент инерции;
- мягкая характеристика механическая, которая дает более меньшее время разгона механизма и двигатель переносит толчки нагрузки легче;
- торможение электрическое двигателей тока постоянного реализуется легче и дает лучшие итоги, чем торможение двигателя асинхронного;
- осуществляется регулирование скорости в обширных границах;
- на постоянном токе аппаратура управления проще и надежнее в действии, чем аппаратура управления на переменном токе.

Для выбора системы эл-привода проведем сравнительный тест систем, используемых для питания мотора постоянного тока. Для питания мотора в регулируемом электроприводе постоянного тока, в текущее время, имеют все шансы употребляться ранние системы преобразовательных приборов:

- генератор – мотор;
- транзисторный преобразователь – мотор;
- тиристорный преобразователь – мотор;

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

Главными достоинствами режима электрогенератор – мотор (Г—Д) представлены высокий спектр и мягкость регулировки быстроту мотора, большая жесткость и линейность данных, вероятность извлечения абсолютно всех энергетических систем деятельность, в этом части и рекуперативного торможения, может быть немалая введенная производительность электро машин. В также период с целью ее свойственны подобные минусы, равно как тройная введенная производительность организации, наиболее небольшой ЭФФЕКТИВНОСТЬ, пассивность движения регулировки быстроты, крупные

размер и звук рядом труде. Помимо этого, данная концепция призывает немалого числа переключательной техники.

Использование организации фототранзисторный устройство – мотор ограничено мощностью элементной основы (транзисторов). Возникнувшие новые поколения транзисторов IGBT и MOSFET важно дают возможность сформировать привод высокой мощности, тем не менее в нынешнее период в РФ они массово никак не издаются.

К достоинствам концепции тиристорный конвертор – мотор (ТП-Д) причисляются: мягкость и большой интервал регулировки быстроты (наиболее 10 в закрытых ЭП), немалая жесткость получаемых данных, большой ЭФФЕКТИВНОСТЬ преобразователя (вплоть до 0,98%), минимальная производительность введенного оснащения, недостаток мобильных Элементов, наименьшие размер, беззвучность в труде, большой степень автоматизации, легкость в обслуживании и эксплуатации, высокий период работы.

При этом данной концепции присущи и минусы: конвертор имеет односторонней проводимостью и с целью извлечения данных в 4 квадрантах следует употреблять комплектный конвертор; напряжённость в якоре и электричество обладают импульсный вид, что же усугубляет обстоятельства деятельность мотора и призывает использования выравнивающих реакторов либо наиболее трудных многофазных методик выпрямления; деятельность УВ характеризуется режимом прерывчатого тока, рядом коем стремительно опускается твердость данных привода и они делаются нелинейными; тиристорные преобразователи имеют небольшой перегрузочной возможностью согласно току и напряжению.

Невзирая в указанные минусы, концепция ТП – Д представляется очень эффективным контролируемым ЭП непрерывного тока и свободно используется с целью привода подобных отвечающих работников автомобилей, равно как прокатные станы, металлорежущие станки и др.

Сопоставив вероятные виды осуществлении организации «преобразователь – двигатель», их плюсов и минусов, подходим к заключению

о потребности использования в свойстве электропривода маятниковых ножниц тиристорного электропривода непрерывного тока.

В нашем случае в свойстве электропривода маятниковых ножниц использован наборный тиристорный привод непрерывного тока серии КТЭ.

1.4 Обоснование функциональной схемы привода. Выбор основных элементов

Максимальное использование в металлургической индустрии в нынешнее период обретает автоматизационный привод непрерывного тока с изолированной концепцией регулировки.

На рисунке 2 показана многофункциональная модель автоматизированного тиристорного реверсионного электропривода непрерывного тока маятниковых ножниц. Осмотрим ключевые компоненты схемы и их назначения.

Электродвигатель М самостоятельного возбужденности приобретает рацион с реверсионного тиристорного преобразователя ТПЯ, что кормится с трехфазной узы При помощи маслоподкачивающий рубильник ВМ и преобразователь Т1.

Электросиловой тиристорный источник преобразователя сделан с отдельным правлением 2-я группами вентилей, аннексированных согласно дорожный схеме выпрямления.

Сглаживающий гидродроссель L, введенный в якорную линия дает возможность снизить значение неустойчивых образующих и, для того наиболее, усовершенствовать применение мотора, его коммутацию и электромеханические свойства. Рубильник В оберегает мотор М с токов кратковременного замыкания и непозволительной перегрузки.

Концепция механическая регулировки (СИСТЕМА) предполагает собою двухконтурную концепцию подвластного регулировки быстроты с негативными возвратными взаимосвязями согласно Е и току мотора. С целью обеспечения правильности останова ножниц рядом угле поворота эксцентрикового астероид 290 градусов с дорожного выключателя, введенного в валу приспособления,

выключается знак задачи быстроты и подключается противоположная взаимосвязанность согласно расположению. Сигналом задачи быстроты в данном порядке, быть знак регулятора утверждения. В свойстве измерителя утверждения применяется синхронизатор. Ноженки встанут рядом повороте астероид приспособления в 360градусов.

Знак задачи быстроты, что создается в истоке любого реза, содержит фигуру скачка. С целью лимитирования форсирования привода в входе регулятора ЭДС Регулятор ЭДС определен задатчик насыщенности ЗИ, что создает линейноизмеряющийся знак задачи быстроты.

В свойстве измерителя тока якоря ДТЯ применяются трансформаторы тока, что введены в повторной цепочки питающего трансформатора.

Согласно данной обстоятельству регулятор тока представляется неререверсивным, что же призывает использования знакопереключающих приборов в силуэте тока реверсионного электропривода.

При поэтапном управлении категории вентилях функционируют отдельно, следовательно с целью их переключения следует закономерное переключающее механизм ЛПУ и регулятор свежего тока ДНТ.

Сигналы задачи быстроты, противоположной взаимосвязи согласно току и установленного смысла выводной согласно быстроты (dn/dt -увеличение быстроедействия) действует в доступ аппарата ССТ - формирователя сигнала стоянки. Рядом присутствии каждого с упомянутых ранее сигналов управления, превышающих лиминальное роль в входе ССТ возникает позитивное напряжённость, что действует в руководство ключами, определенных в цепочки регулировки степени лимитирования ССТ либо блокировки, а кроме того с целью блокировки РТ. В таком случае принимать в ССТ вводится нужный степень лимитирования

Электрообмотка возбужденности мотора приобретает рацион с собственного тиристорного преобразователя, назначенного с целью стабилизации нарицательного тока возбужденности. Концепция регулировки предполагает собою одноконтурную концепцию регулировки тока возбужденности.

На многофункциональной схеме установлены следующие обозначения:

ВК1 - ВК4 – ключ бесконтактный;

ПУ1 – ПУ3 – усилитель промежуточный;

ЗИ – задатчик интенсивности скорости;

РЭ – ЭДС регулятор ;

РП – положения регулятор ;

ФВУ – усилитель фазовый выпрямитель;

РГ1, РГ2 – развязка гальваническая ;

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 автоматический цепи якоря;

М – двигатель;

СД – сельсин-датчик;

ЛМ – обмотка возбуждения двигателя;

ТПВ – тиристорный преобразователь обмотки возбуждения;

ТТВ – трансформатор тока обмотки возбуждения;

ДТВ – датчик тока возбуждения;

РТВ – регулятор тока возбуждения.

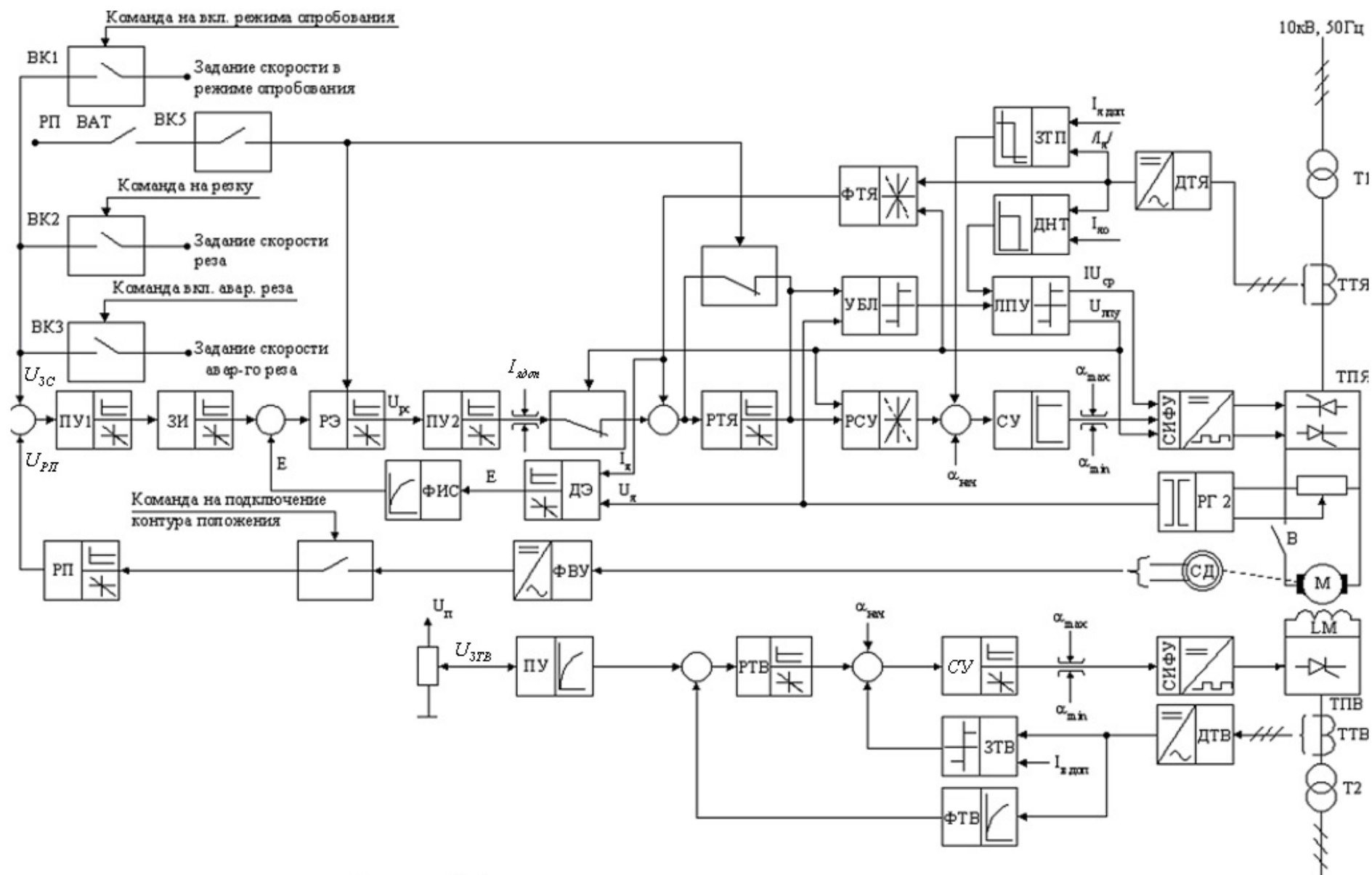


Рисунок 2-Функциональная схема электропривода маятниковых ножниц

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 ²
	– предел текучести в холодном состоянии	58.5 кг/мм ²
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.

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

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

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

Расчетная скорость электродвигателя

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

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

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

По найденным расчетным значениям максимального момента и скорости предварительно выбираем двигатель постоянного тока типа П2-800-177-8У4

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]

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

где $K_1 = \frac{\tau_{\text{макс}}}{\delta_{\text{в}}} = 0.6 \div 0.7$ - 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;

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

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

($\epsilon_{\text{в}} = 0.55$ - 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 165×200 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	$n_{\text{мах}}$	об/мин	400
Номинальное напряжение	$U_{\text{н}}$	В	700

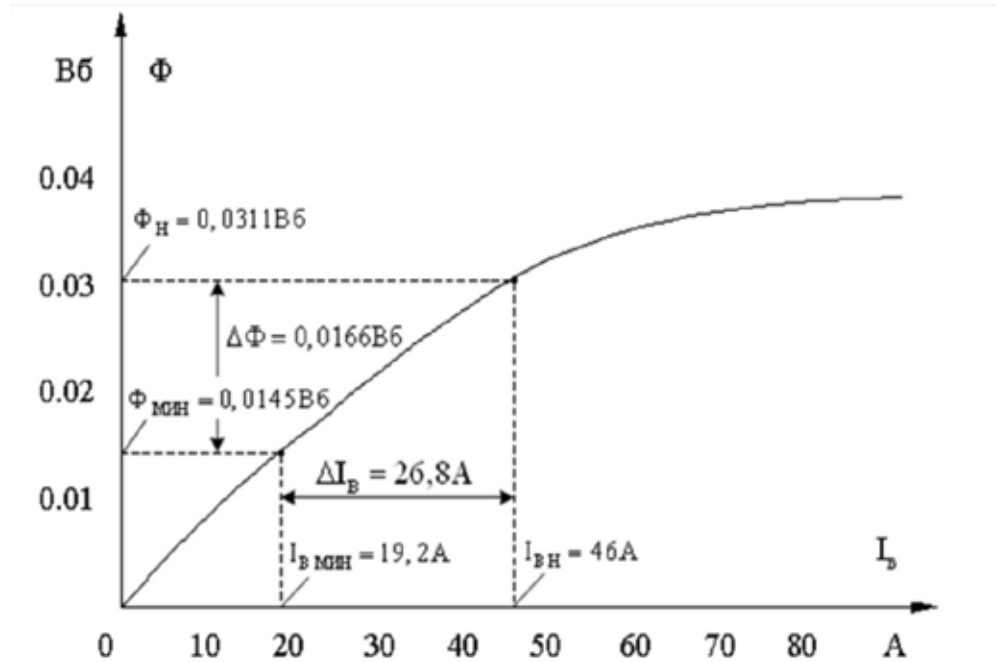
Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Номинальный ток	I_n	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_v	-	315
Перегрузка по току рабочая	λ	--	2.25
Поток одного полюса	Φ_n	Вб	0.0311
Момент инерции	$J_{дв}$	кг·м ²	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	$\omega_{дв.н} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30}$	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	20.9
Индуктивность цепи якоря двигателя, где $\gamma = 0.3 \div 0.4$ – для двигателей с компенсационной обмоткой, принимаем $\gamma = 0.3$.	$L_{дв} = \gamma \cdot \frac{U_{дв}}{p \cdot I_{дв.н}}$	мГн	0.647
Коэффициент ЭДС двигателя, при $\Delta U_{щ} = 2 \text{ В}$	$k = \frac{U_{дв.н} - I_{дв.н} \cdot R_{дв.гор}}{\omega_{дв.н}}$	$\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$	31.4
Максимальный ток	$I_{дв.макс} = 2.25 \cdot I_{н}$	А	3880
Сопротивление обмотки возбуждения при рабочей температуре	$R_{в} = 1.38 \cdot R_{ов}$	Ом	3.53
Напряжение возбуждения двигателя, В	$U_{в} = R_{в} \cdot I_{вн}$	В	162.38
Индуктивности пот. возбужд., где $\Delta \Phi = 0.0166 \text{ Вб}$ и $\Delta I_{в} = 26.8 \text{ А}$ – рисунок 3.	$L_{\sigma} = 2p \cdot W_{\sigma} \cdot \frac{\Delta \Phi_{н}}{\Delta I_{вн}}$	Гн	1.17
Индуктивности потока рассеивания	$L_{s} = 2p \cdot W_{в} \cdot \frac{\Phi_{н}}{I_{в.н}} \cdot \frac{(\sigma - 1)}{\Gamma_{н}}$	Гн	0.23

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 3.



$I_{в}, А$	0	10	19,2	25	35	46	70
$\Phi, Вб$	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.

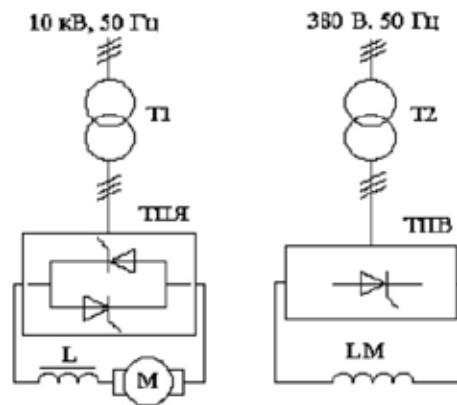


Рисунок 4 - Схема электрическая принципиальная упрощённая

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

$$U_{дп} \geq U_{дв.п};$$

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

$$I_{дп} \geq I_{дв.п}.$$

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

1	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 $0,1 \cdot I_{дв.н}$

$$L_{кн1} = \frac{1}{\omega_c} \cdot k_{сп.макс} \cdot \frac{E_{d0}}{I_{д.сп}} = \frac{1}{314} \cdot 0.093 \cdot \frac{970}{172.5} = 0.0016 \text{ Гн,}$$

где при $\alpha = 90^\circ$ $k_{сп.макс} = \left(1 - \frac{\pi}{m_e} \cdot ctg \frac{\pi}{m_e}\right) \cdot \sin \alpha = \left(1 - \frac{\pi}{6} \cdot ctg \frac{\pi}{6}\right) \cdot \sin 90^\circ = 0.093$;

$$I_{д.сп} < 0,1 \cdot I_{дв.н} = 0,1 \cdot 1725 = 172.5 \text{ А.}$$

Тогда индуктивность дросселя

$$L_{др1} = L_{кн1} - L_{тп} - L_{дв} = 0.0016 - 1 \cdot 10^{-3} - 0.000647 = 0.000047 \text{ Гн.}$$

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 $E_{d(1)} = \frac{E_{d0}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2 \cdot m_e}{(m_e^2 - 1)} = \frac{970}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2 \cdot 6}{(6^2 - 1)} = 235.8 \text{ В.}$

Тогда индуктивность дросселя

$$L_{др2} = L_{кн2} - L_{тп} - L_{дв} = 0.0024 - 0.001 - 0.000647 = 0.000777 \text{ Гн.}$$

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	ΔP_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

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

где

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

– сопротивление, вносимое за счет коммутации анодных токов.

Индуктивность силовой цепи преобразователя

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

Определим сопротивление силовой цепи двигателя

$$\begin{aligned} R_{ц.дв} &= R_{дв.гор} + R_p + 0.1 \cdot R_{дв.гор} = \\ &= 0.0263 + 0.002128 + 0.1 \cdot 0.0263 = 0.031 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

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,

$$E_{d0} = U_{2\phi} / K_{u2\phi} = \frac{718}{0.74} = 970 \text{ В} - \text{средневыпрямленная ЭДС преобразователя}$$

при $\alpha = 0^\circ$.

Принимаем $\alpha_{мин} = 25^\circ$.

Максимальный угол управления при $I_{макс}$

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

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

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

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)

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

Результаты расчета сведены в таблицу 4.

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

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

где $I_{\text{эп. макс}} \leq 0$.

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)

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

где $I_{\text{эп. макс}} \leq 0$.

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	
$I_{\text{дв}}, \text{ А}$	0	3600	0	-3600	0	-3600
$\omega_{\text{дв}}, \text{ рад/с,}$ при $K_{\text{ос}} = 0.9$	25	16	27.7	30	21.3	30
$\omega_{\text{дв}}, \text{ рад/с,}$ при $K_{\text{ос}} = 1.0$	27.7	18.7	30.7	32.7	24.6	32.7

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

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

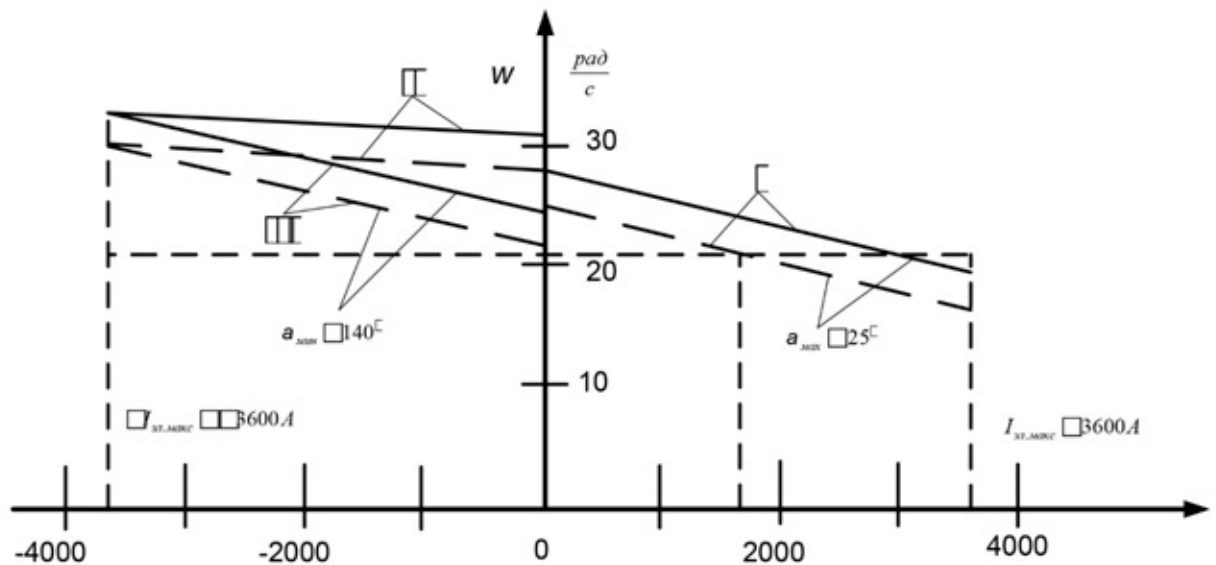


Рисунок 5 –Заданная область работы и электромеханические характеристики разомкнутой системы ТП–Д(сплошными линиями приведены характеристики при $k_{oc} = 1$)

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

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

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

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

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

Преобразователь имеет следующие технические данные:

- номинальный ток $I_{дн} = 100 \text{ A}$;
- 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

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

Активное сопротивление фазы трансформатора

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

Индуктивное сопротивление трансформатора

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

Индуктивность фазы трансформатора

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

2.2.5 Расчет параметров цепи возбуждения двигателя

Упрощенная схема силовой цепи включения обмоток возбуждения приведена на рисунке 6

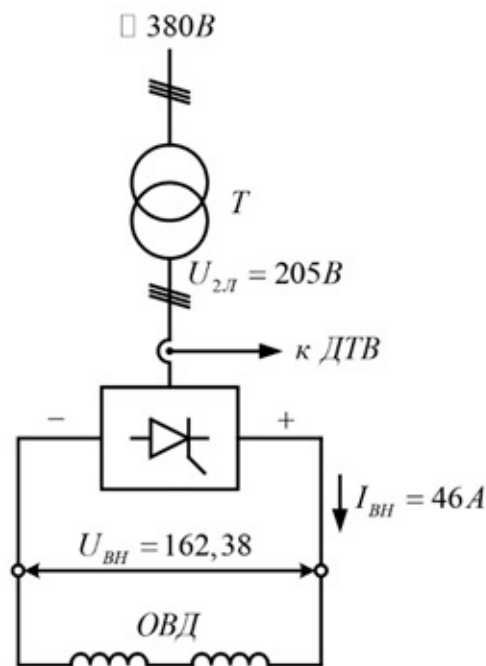


Рисунок 6- Упрощенная схема силовой цепи включения обмоток возбуждения

Сопротивление цепи обмотки возбуждения

$$R_{цв} = R_{\sigma, \text{сop}} + R_{\text{mтв}} = 3,53 + 0,493 = 4,023 \text{ Ом},$$

где

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

– сопротивление силовой цепи преобразователя;

$$R_{\kappa} = \frac{m_{\sigma} \cdot X_{\text{mp.с.ф}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,1727}{2 \cdot \pi} = 0,165 \text{ Ом}$$

– сопротивление, вносимое за счет коммутации анодных токов.

Постоянная времени основного потока

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

Постоянная времени потока рассеяния

$$T_s = \frac{2 \cdot L_{\text{mp.с.ф}} + L_s}{R_{цв}} = \frac{2 \cdot 0,00055 + 0,23}{4,023} = 0,0574 \text{ с.}$$

Постоянная времени вихревых токов

$$T_{\kappa} = 0,1 \cdot T_{\sigma} = 0,1 \cdot 0,2908 = 0,02908 \text{ с.}$$

Значение минимального угла управления преобразователя возбуждения

$$\alpha_{\text{мин}} \leq \arccos \frac{I_{\sigma} \cdot R_{цв}}{K_c \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{46 \cdot 4,023}{0,85 \cdot 277} = 38^{\circ},$$

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

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

Принимаем $\alpha_{\text{мин}} = 30^{\circ}$.

Коэффициент усиления преобразователя цепи возбуждения

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

2.3 Расчет электромеханических характеристик реверсивного тиристорного преобразователя

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \cdot R_{ящ} - \Delta U_e}{c},$$

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

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

ΔU_e – 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

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

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

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

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

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристоров α (в диапазоне $0 \dots 180$) и угол проводимости λ ($0 \dots 60$), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 7:

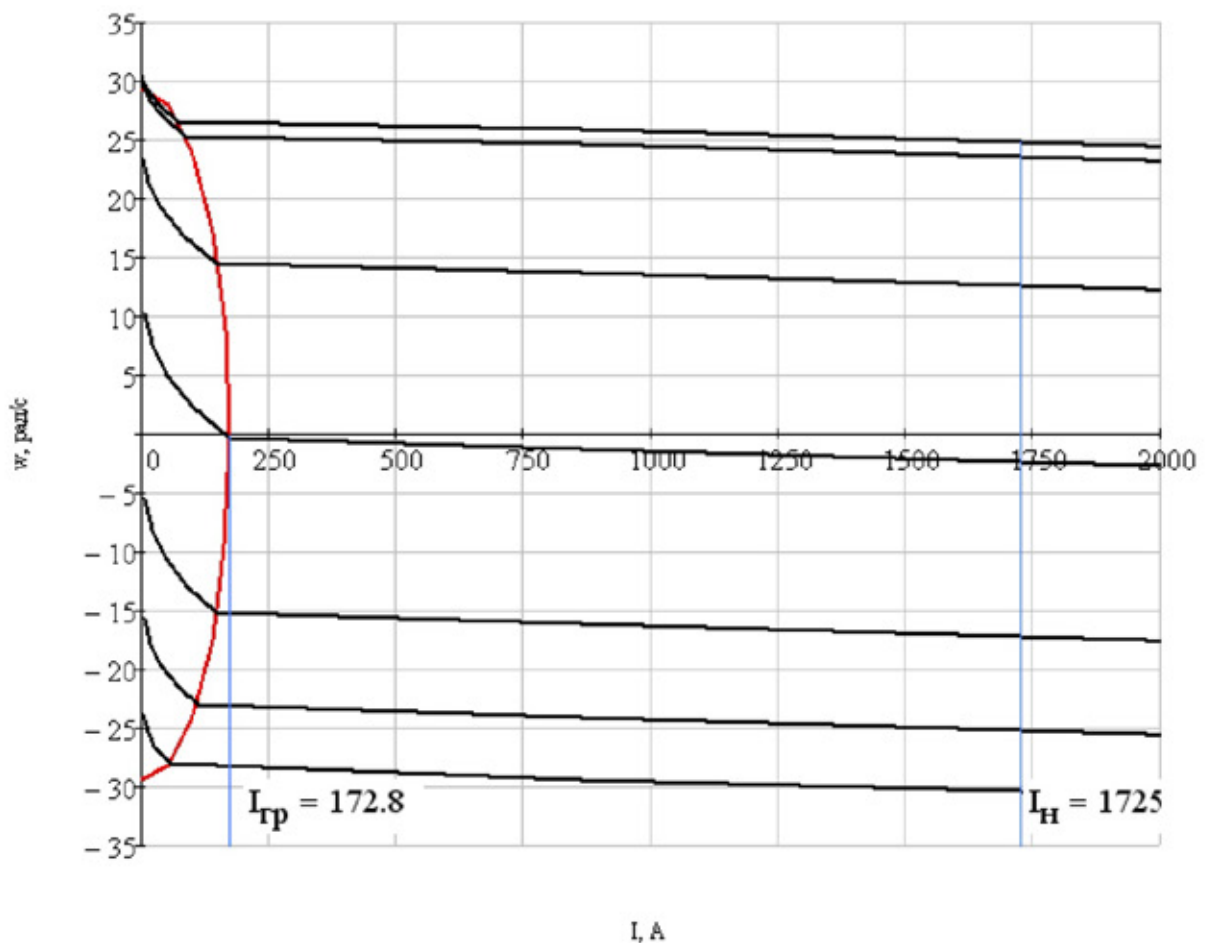


Рисунок 7 – Электромеханические характеристики системы УВ-Д с отдельным управлением

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

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.

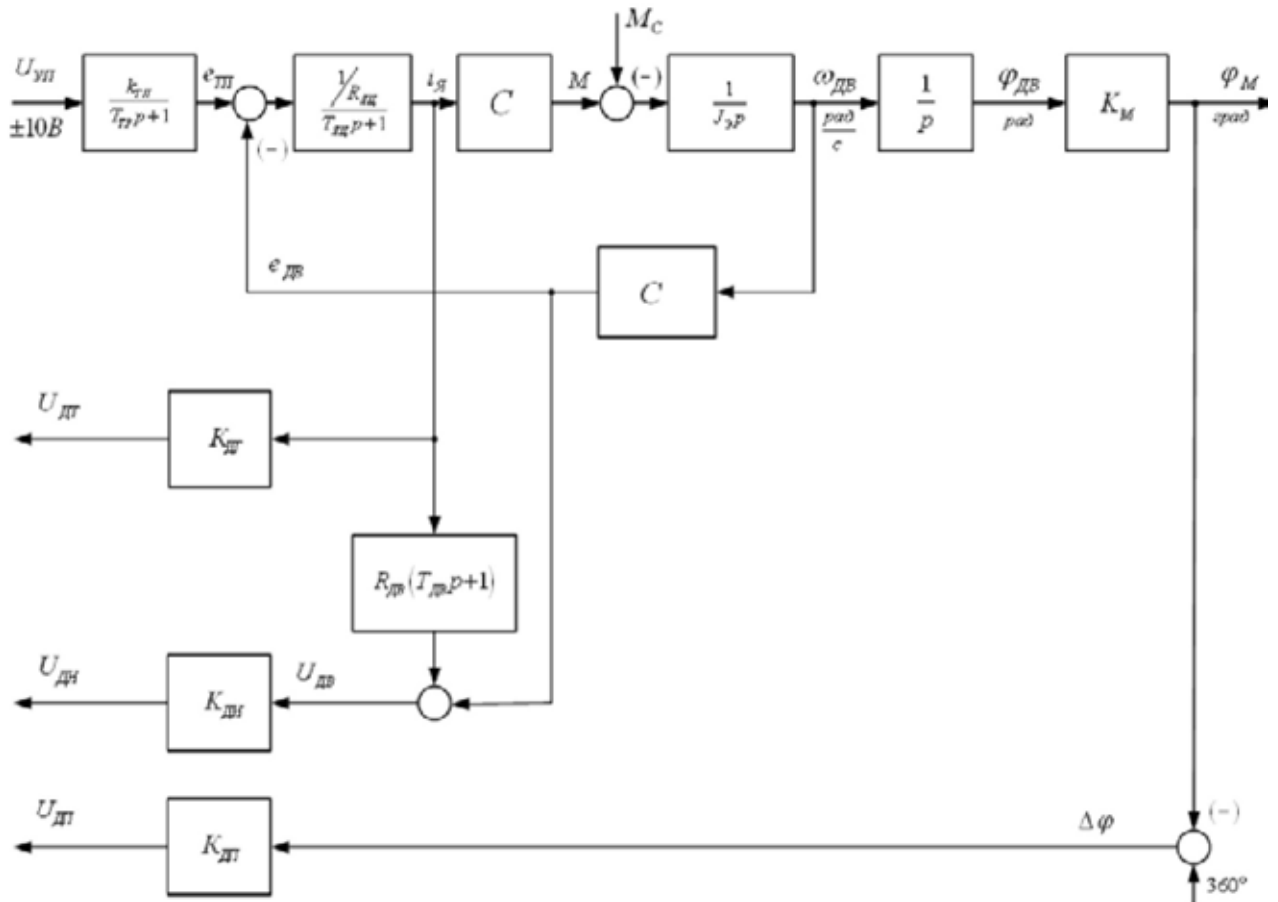


Рисунок 8– Структурная схема силового канала электропривода

Коэффициент обратной связи по току

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

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

$$K_{дн} = \frac{10}{U_{дв\ макс}} = \frac{10}{1000} = 0.01,$$

где $U_{дв\ макс} = 1000В$ – максимальное значение напряжения принятое при настройке датчика напряжения.

Коэффициент передачи механизма

$$K_m = \frac{\Delta\varphi_M}{\Delta\varphi_{дв}} \frac{360^\circ}{2 \cdot \pi \cdot i_{ред}} = \frac{360^\circ}{2 \cdot \pi \cdot 3.18} = 18 \frac{град}{рад}.$$

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

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

Момент статический холостого хода привода

$$M_{с.хх} = (1 - \eta) \cdot M_{рез.пр} + M_{с.дв} = 0,1 \cdot 57205,2 + 577 = 6297,52 Н \cdot м,$$

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

Таблица 6 - Параметры силовой цепи

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

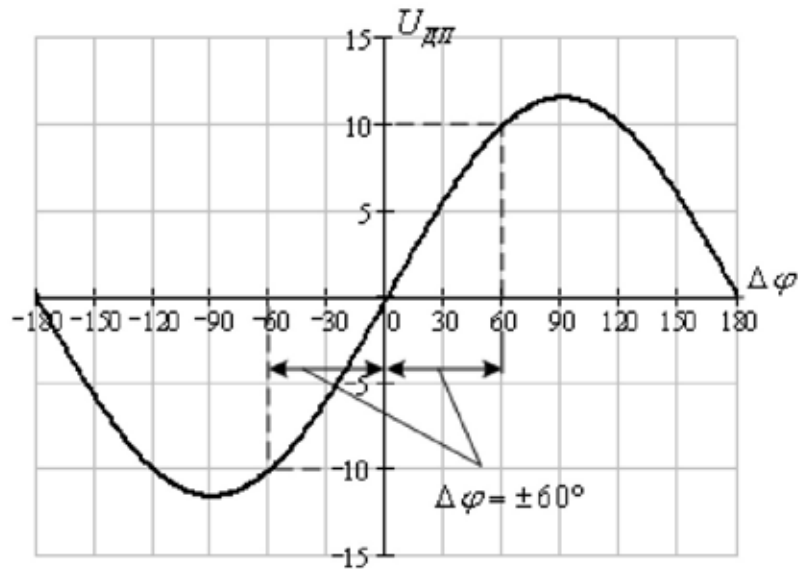


Рисунок 9—Регулировочная характеристика ДП

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 (технически оптимум) и симметричный оптимум.

2.5.1 Линеаризованная структура САУ маятниковых ножиц

Система автоматического регулирования маятниковых ножиц 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 САУ замыкается по положению (следающий режим).

Структурная схема линеаризованной САУ маятниковых ножиц 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 обратной связи по ЭДС позволяет избежать трудностей, связанных с измерением скорости при помощи тахогенераторов. Широкому распространению структур обратными связями по ЭДС, способствует простота реализации, высокая надежность в эксплуатации, возможность токоограничения путем ограничения напряжения регулятора ЭДС.

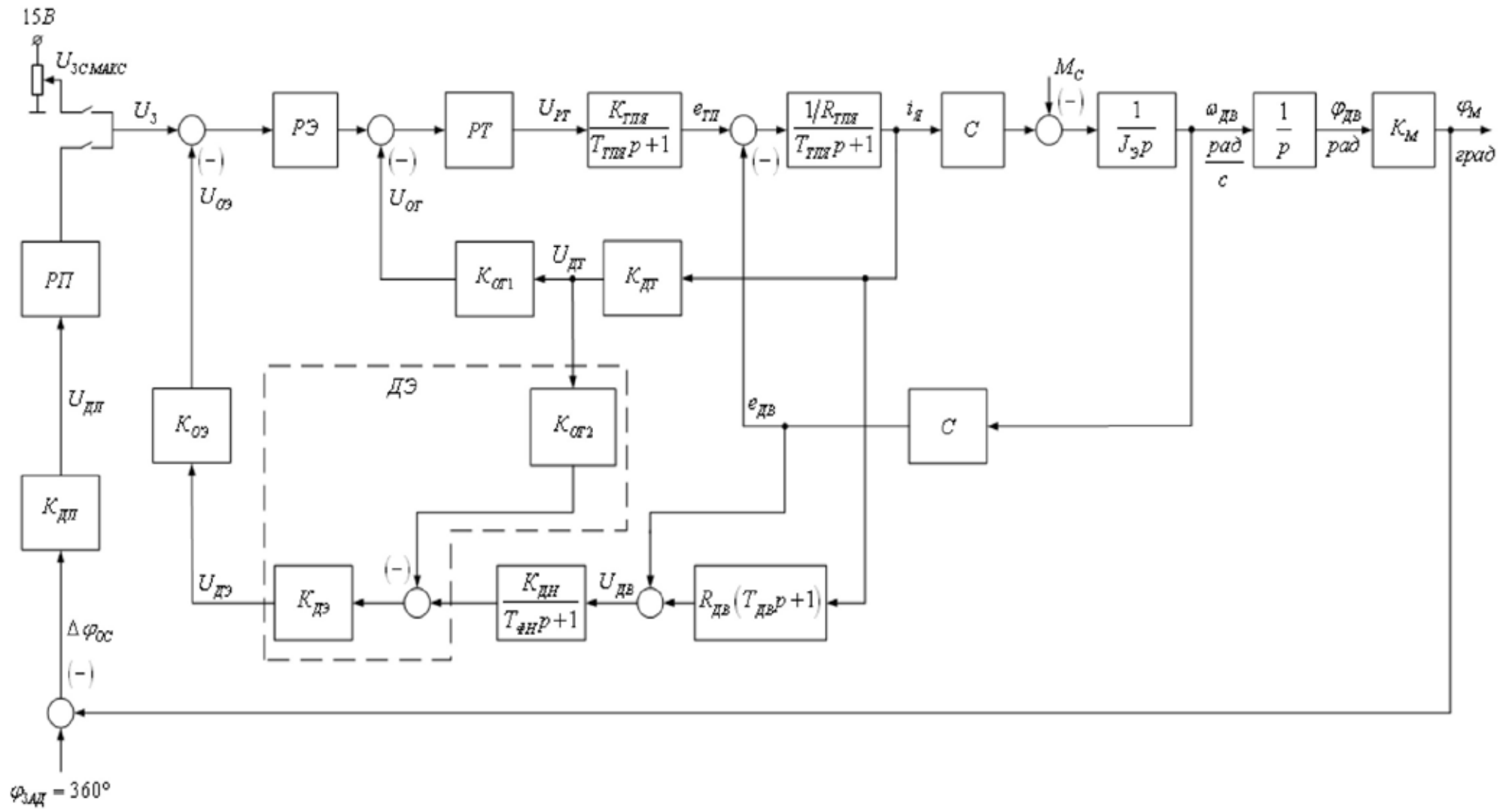


Рисунок 10–Структурная схема линеаризованной САУ маятниковых ножниц.

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
≤ 1	ПИ	МО [СО]
≥ 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

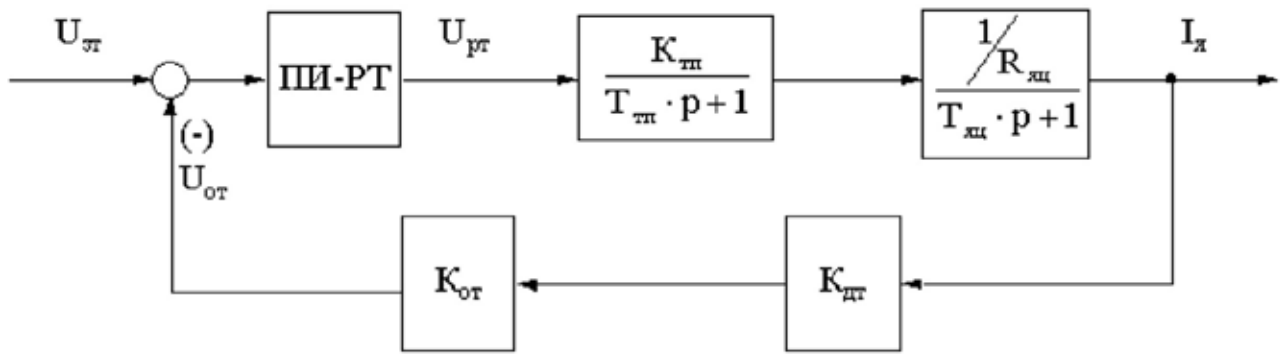


Рисунок 11 – Структурная схема контура тока

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

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

где $T_{дт} = T_{тп} = 0.00167 \text{ с}$ - 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

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

Логарифмические частотные характеристики контура приведены на рисунке 13.

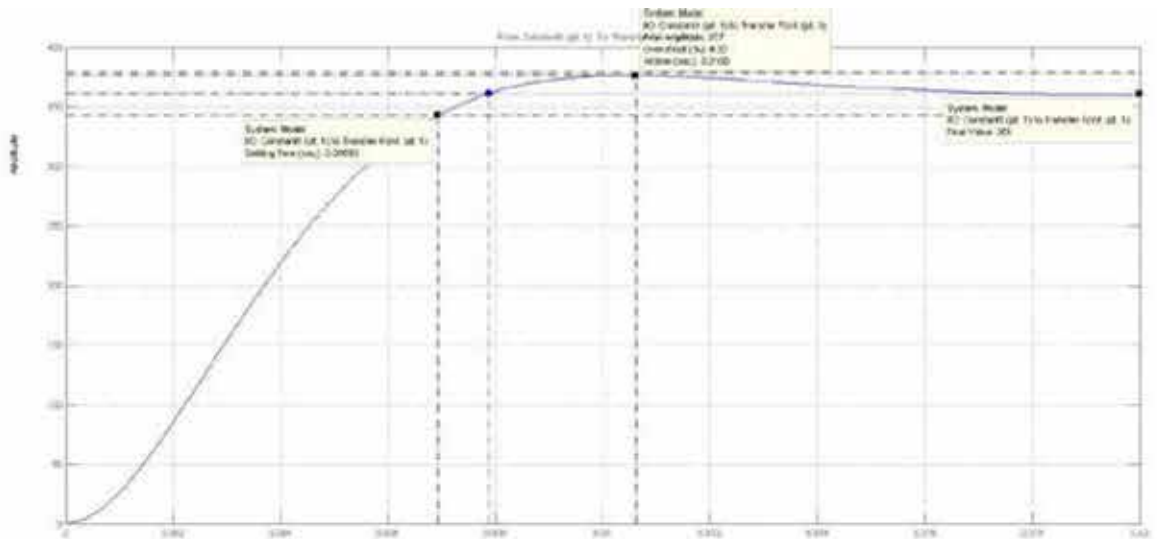


Рисунок 12 - Переходные процессы контура тока

Ожидаемые показатели качества:

- Полоса пропускания по модулю и фаз

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

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

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

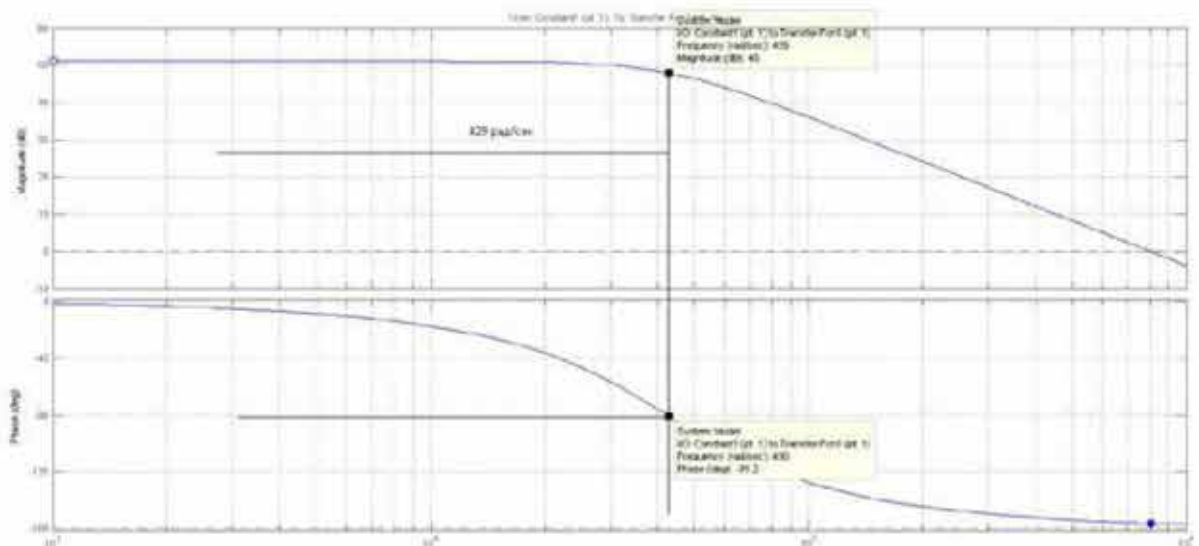


Рисунок 13 – Частотные характеристики замкнутого контура тока

Ожидаемые показатели работы контура тока:

$$\Delta I_{y,уст} = 0 \text{ установившаяся статическая ошибка;}$$

$\sigma = 4.3 \%$ - перерегулирования;

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

и время переходного процесса, при обработке ступенчатого управляющего задания;

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

2.5.3 Оптимизация контура ЭДС

Структурная схема контура ЭДС приведена на рисунке 17

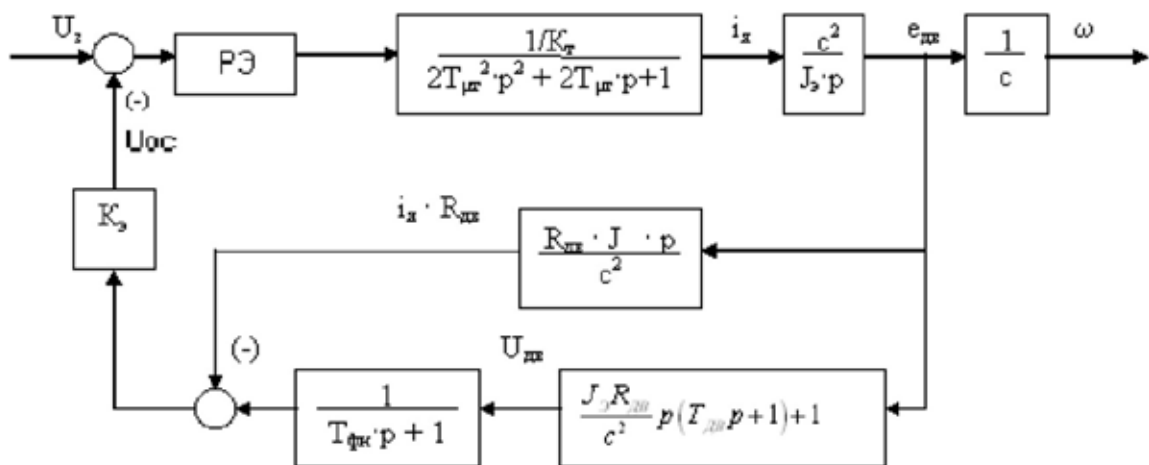


Рисунок 14 – Структурная схема линейризованной САУ РЭП с П – регулятором ЭДС

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

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

и при настройке привода выполнить условие

$$\kappa_{от2} = R_{дв} \cdot \frac{\kappa_{дн}}{\kappa_{дт}} = 0.01908 \frac{0,01}{0,0025} = 0,7632,$$

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

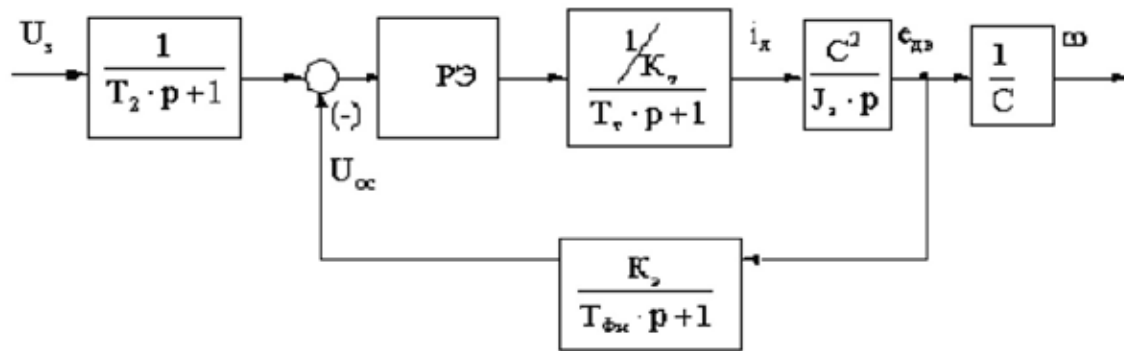


Рисунок 15 – Упрощенная структурная схема контура ЭДС

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

регулятора;

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

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

$T_{μэ} = T_T + T_{ФН} = 0,00334 + 0.0246 = 0.027934 \text{ с - эквивалентная малая постоянная времени контура ЭДС;}$

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

Поскольку в цепи обратной связи имеется аperiodическое 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

$$K_{OЭ} = \frac{K_{Э}}{K_{ДН} \cdot K_{ДЭ}} = \frac{0.01524}{0.01 \cdot 1} = 1,524.$$

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

$$W_{(P)Э.замкн} = \frac{e_{ДВ}(p)}{U_{ЗС}(p)} = \frac{1/K_{Э}}{a_{Э} \cdot T_{\mu Э} \cdot p \cdot (T_T \cdot p + 1)(T_{ФН} \cdot p + 1) + 1} \approx \frac{1/K_{Э}}{a_{Э} T_{\mu Э} p (T_{\mu Э} p + 1) + 1}.$$

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

$$W(p)_{замкн} = \frac{\omega(p)}{U_{ЗС}(p)} = \frac{1}{c \cdot K_{Э}} \frac{1}{a_{Э} T_{\mu Э} p (T_T p + 1)(T_{ФН} p + 1) + 1} \approx \frac{1}{c \cdot K_{Э}} \frac{1}{a_{Э} T_{\mu Э} p (T_{\mu Э} p + 1) + 1}.$$

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

Структурная схема контура ЭДС по возмущению приведена на рисунке

20

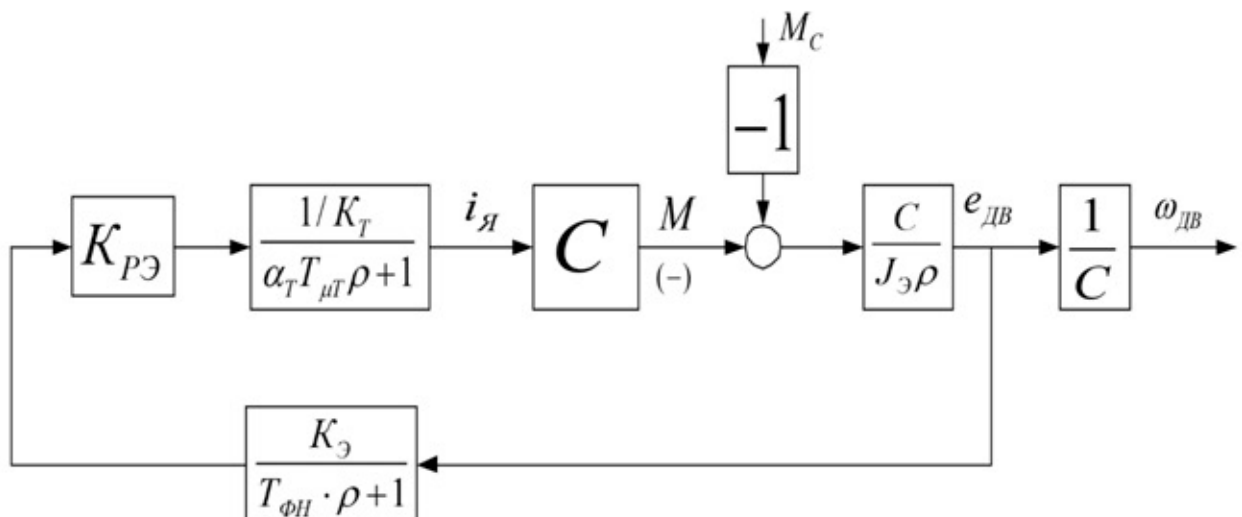


Рисунок 16 – Структурная схема контура ЭДС по возмущению

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

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

Установившаяся ошибка контура по возмущению

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

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

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

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

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

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

$$\Delta\omega_{в.уст} = 1,8 \text{ рад/с}$$

Логарифмические частотные характеристики контура рассчитанные с помощью программы Matlab по выражению $W(p)_{замкн} = \frac{\omega(p)}{U_{зс}(p)} = \frac{2,09}{0,000001229p^3 + 0,000470631p^2 + 0,03068p + 1}$, приведены на рисунке 19.

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

$\Delta\omega_{у.уст} = 0$ – 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

$$\omega_n^{(n)} = \omega_n^{(\phi)} = 0.71/T_{\mu\varepsilon} = 0,71/0,01534 = 4,628 \text{ рад/с};$$

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

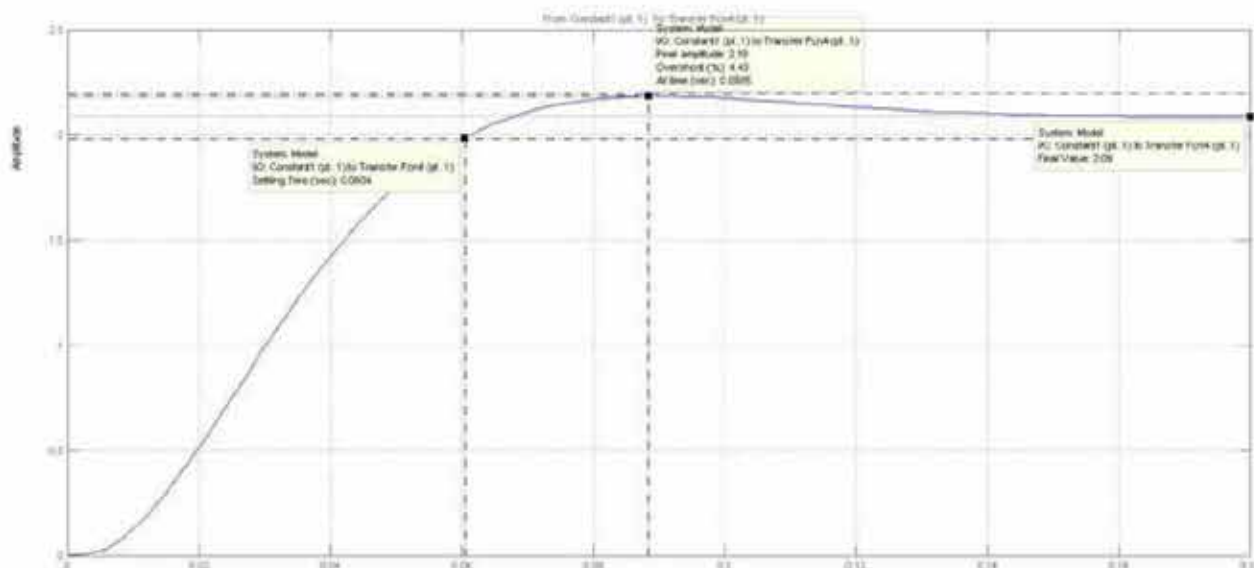


Рисунок 17 -Переходные процессы контура ЭДС

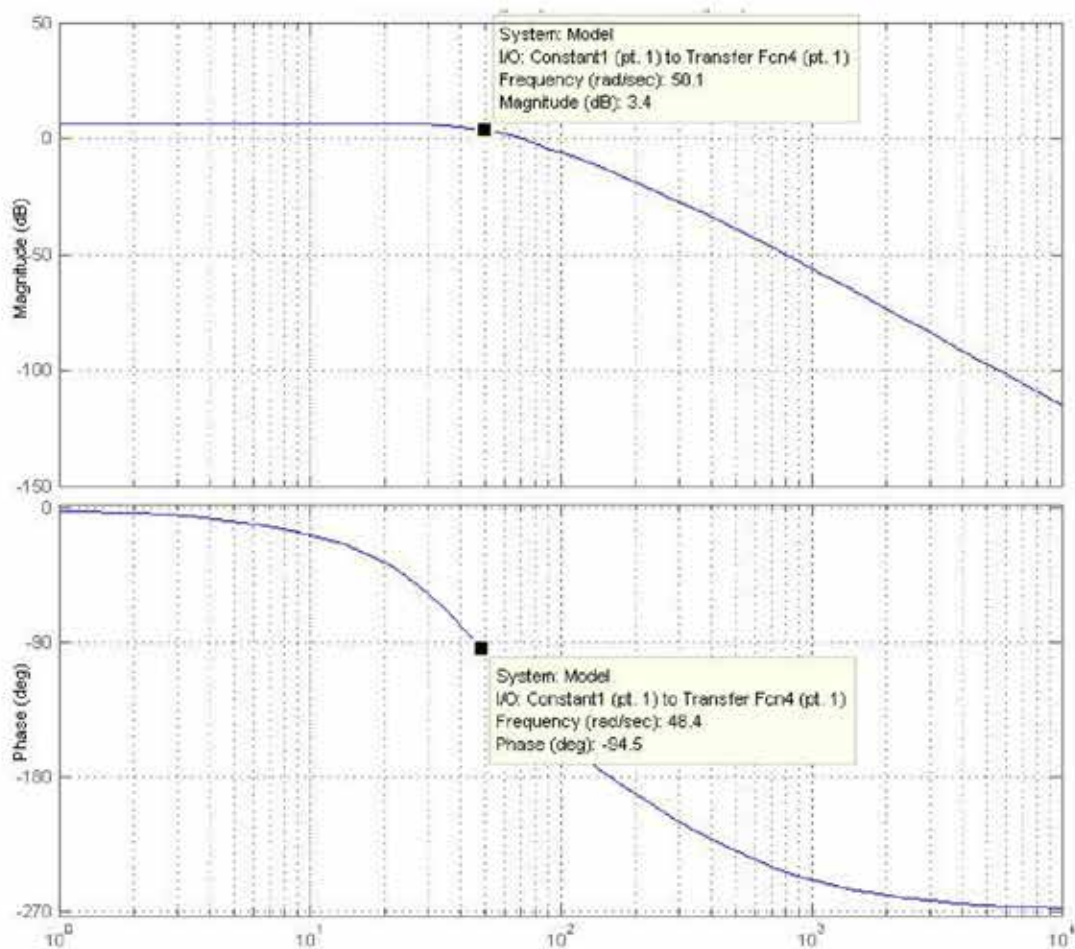


Рисунок 18 – ЛЧХ замкнутого контура ЭДС

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

$$W_{СК}(p)_{у.з.ам} = \frac{1}{a_3 T_{м3} p (T_T p + 1) (T_{фн} p + 1) + 1} \approx \frac{1}{a_3 T_3 p + 1}$$

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

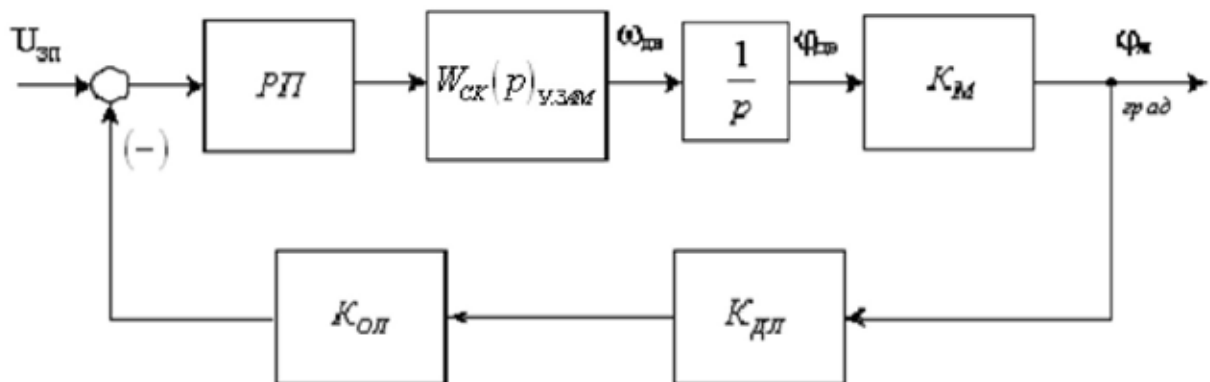


Рисунок 19 – Структурная схема контур положения

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 $K_{РП} = \frac{K_3 \cdot c}{K_M \cdot K_{П} \cdot a_{П} \cdot T_3} = \frac{0,01524 \cdot 31,4}{18 \cdot 0,167 \cdot 2 \cdot 0,03068} = 2,5944$ – коэффициент усиления

регулятора;

$$K_{П} = K_{ОП} \cdot K_{ДП} = 1 \cdot 0,167 = 0,167 \text{ B/рад} \text{ – коэффициент обратной связи по}$$

положению;

$T_3 = a_3 \cdot T_{м3} = 2 \cdot 0,01534 = 0,03068$ с – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура ЭДС;

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

Передаточная функция замкнутого контура положения

$$W_{II}(p)_{y.zam} = \frac{1/K_{II}}{a_{II}T_{\Sigma}p[a_{\Sigma}T_{\mu\Sigma}p(T_T p+1)(T_{\phi II} p+1)+1]+1} \approx \frac{1/K_{II}}{a_{II}T_{\Sigma}p(T_{\Sigma} p+1)+1}$$

Логарифмические частотные характеристики контура положения рассчитаны по выражению:

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

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

$\sigma = 4.3\%$ - перерегулирование;

$t_{py1}^{(s)} = t_{py2}^{(s)} = 4.1 \cdot T_{\Sigma} = 4.1 \cdot 0,03068 = 0,126c$. - время первого и окончательного вхождения в 5% зону.

Полоса пропускания контура по фазе и модулю

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

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

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

- $\sigma = 0\%$;

- $t_{py1}^{(s)} = t_{py2}^{(s)} = 9.5 \cdot T_{\Sigma} = 9.5 \cdot 0,03068 = 0,209c$.

Полоса пропускания:

- по фазе

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

- по модулю

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

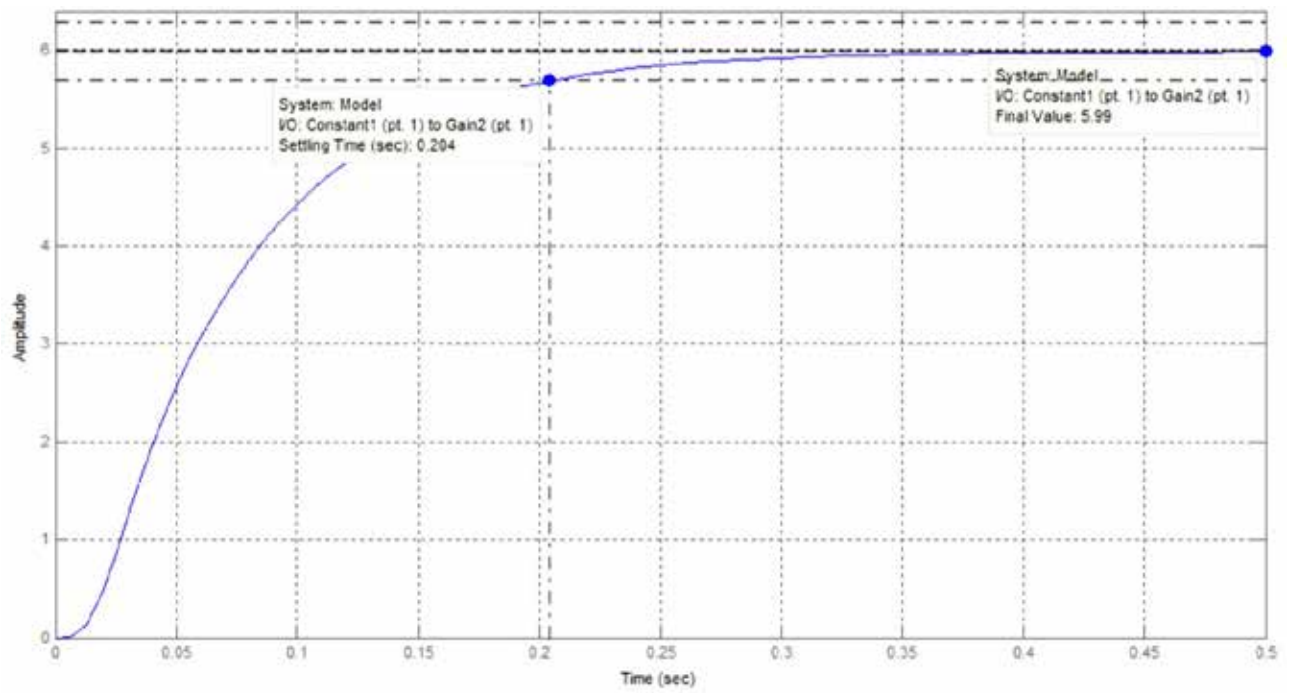


Рисунок 20 -Переходные процессы контура положения

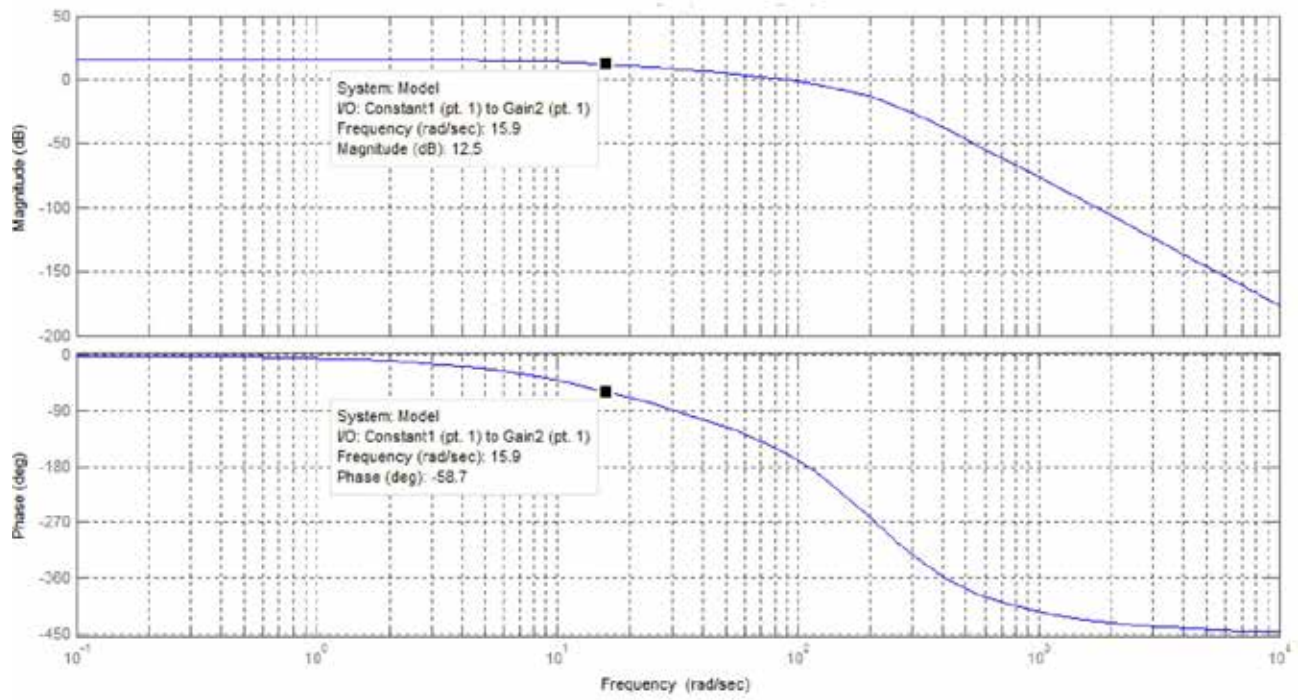
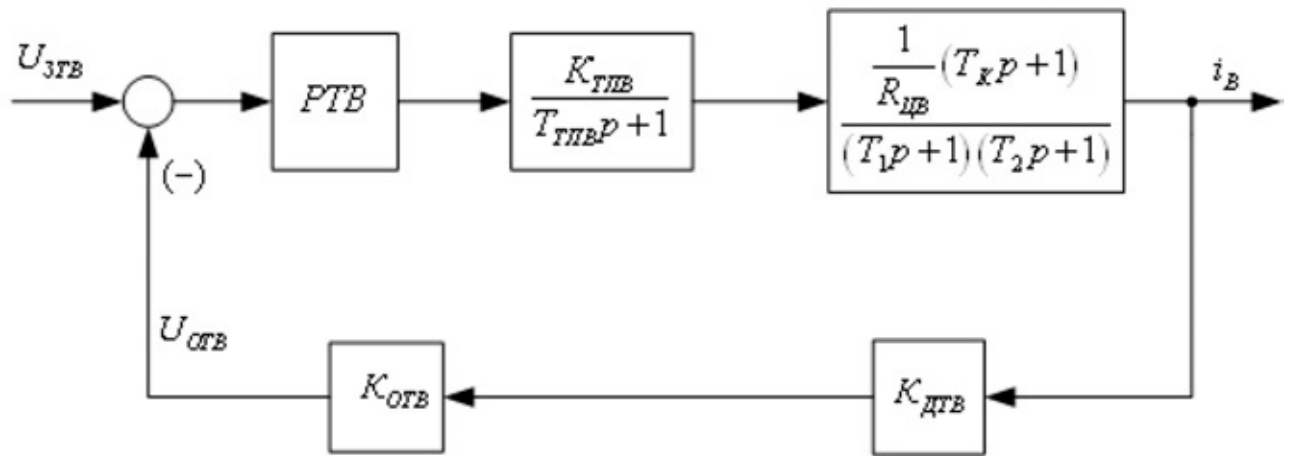


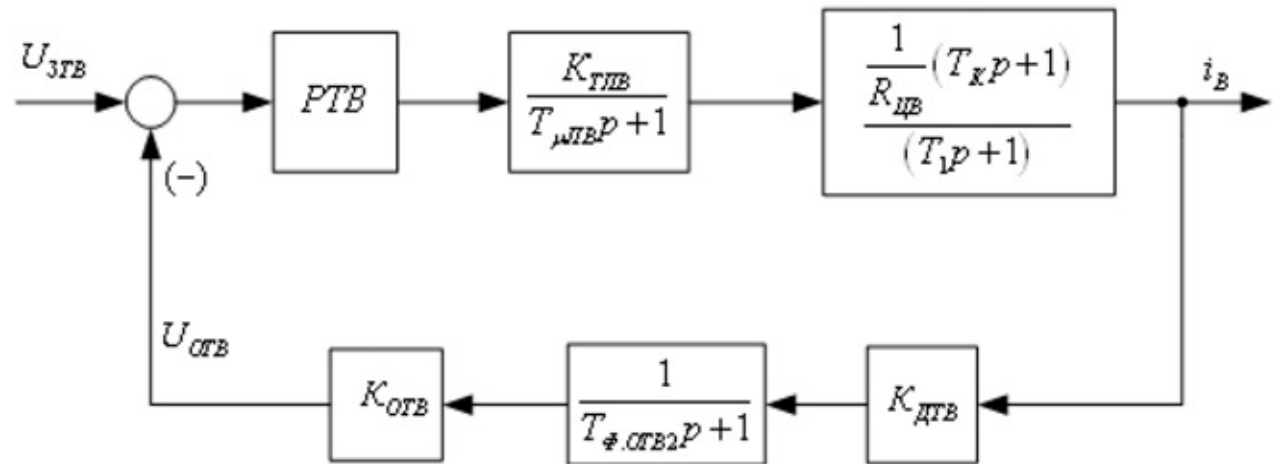
Рисунок 21 – ЛЧХ замкнутого контура положения

2.5.5 Настройка контура тока возбуждения двигателя САУ

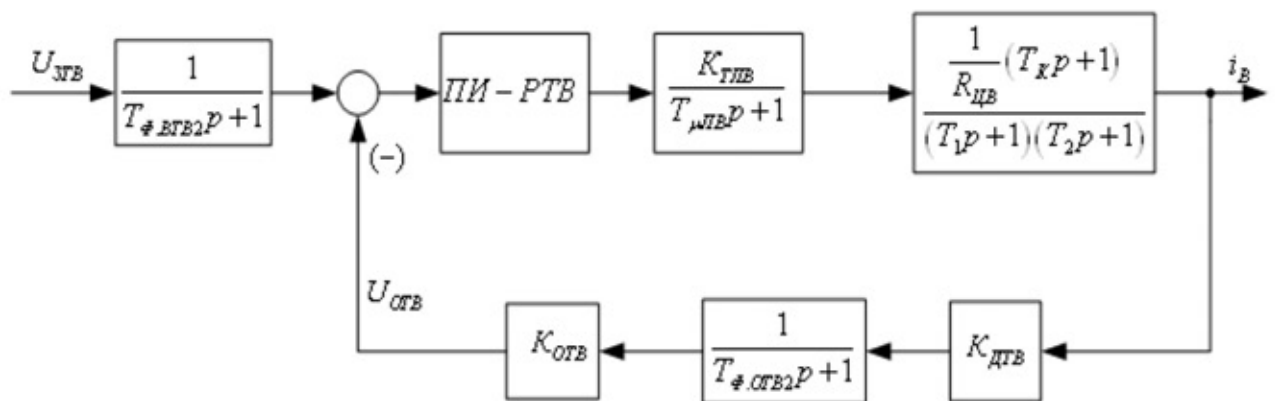
Структурная схема контура тока возбуждения приведена на рисунке 26,а.



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 $T_1 > (T_{ПТВ} + T_2)$ и $T_1 > T_k$.

Тогда принимаем:

$$T_{\mu ТВ} = (T_{ПТВ} + T_2) = 0.00167 + 0.0512 = 0.05287 \text{ с} - \text{малая постоянная времени}$$

тиристорного преобразователя возбуждения;

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

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

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

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

– коэффициент усиления регулятора

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

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

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

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

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

– токоограничение, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора ЭДС

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

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

$$E_{ТП \text{ МАКС}} = E_{д0} \cdot \cos \alpha_{\text{МИН}} = 970 \cdot \cos 25^\circ = 879 \text{ В};$$

–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 вентиля, 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
c	M_C Н·м	$M_{РЕЗ}$ Н·м	$J_{Э}$ кг·м ²	K_M град/рад	$K_{ДГ}$ 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

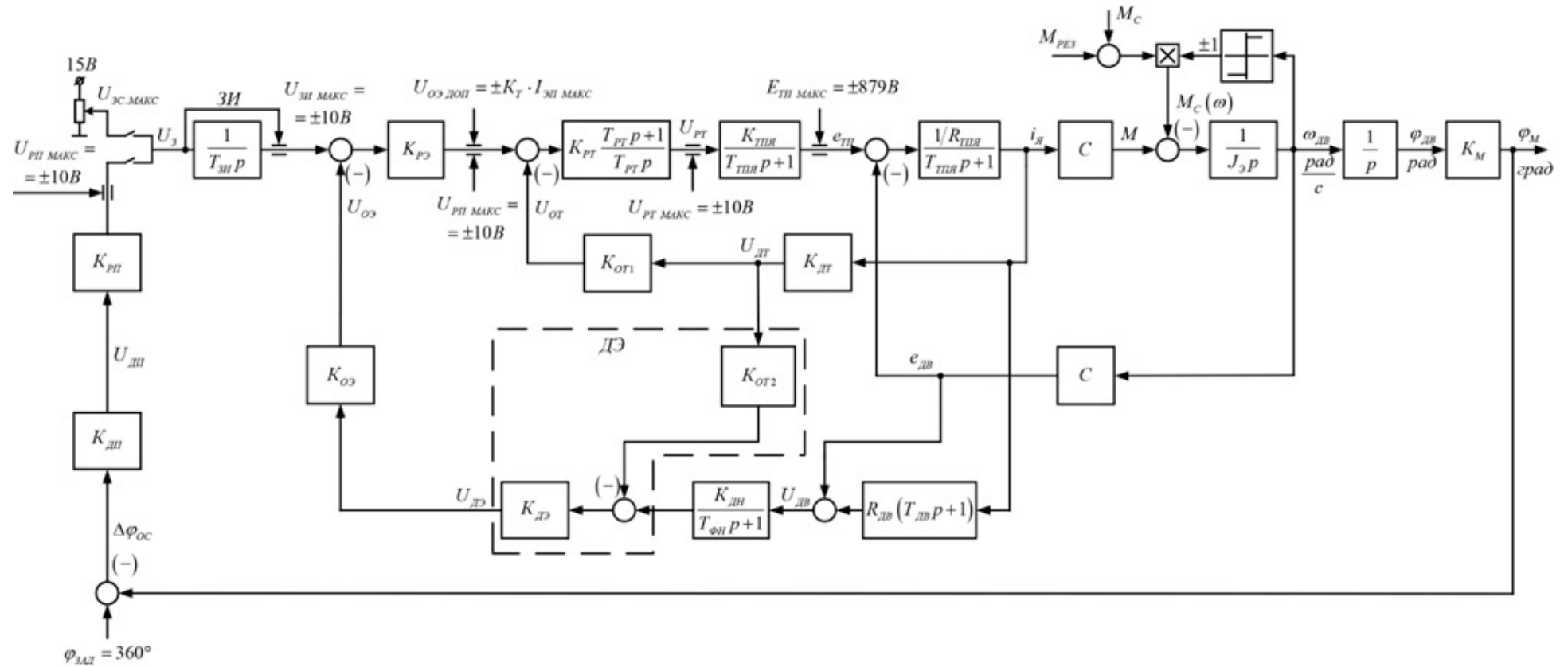


Рисунок 23—Структурная схема нелинейной САУ электропривода ножниц

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.

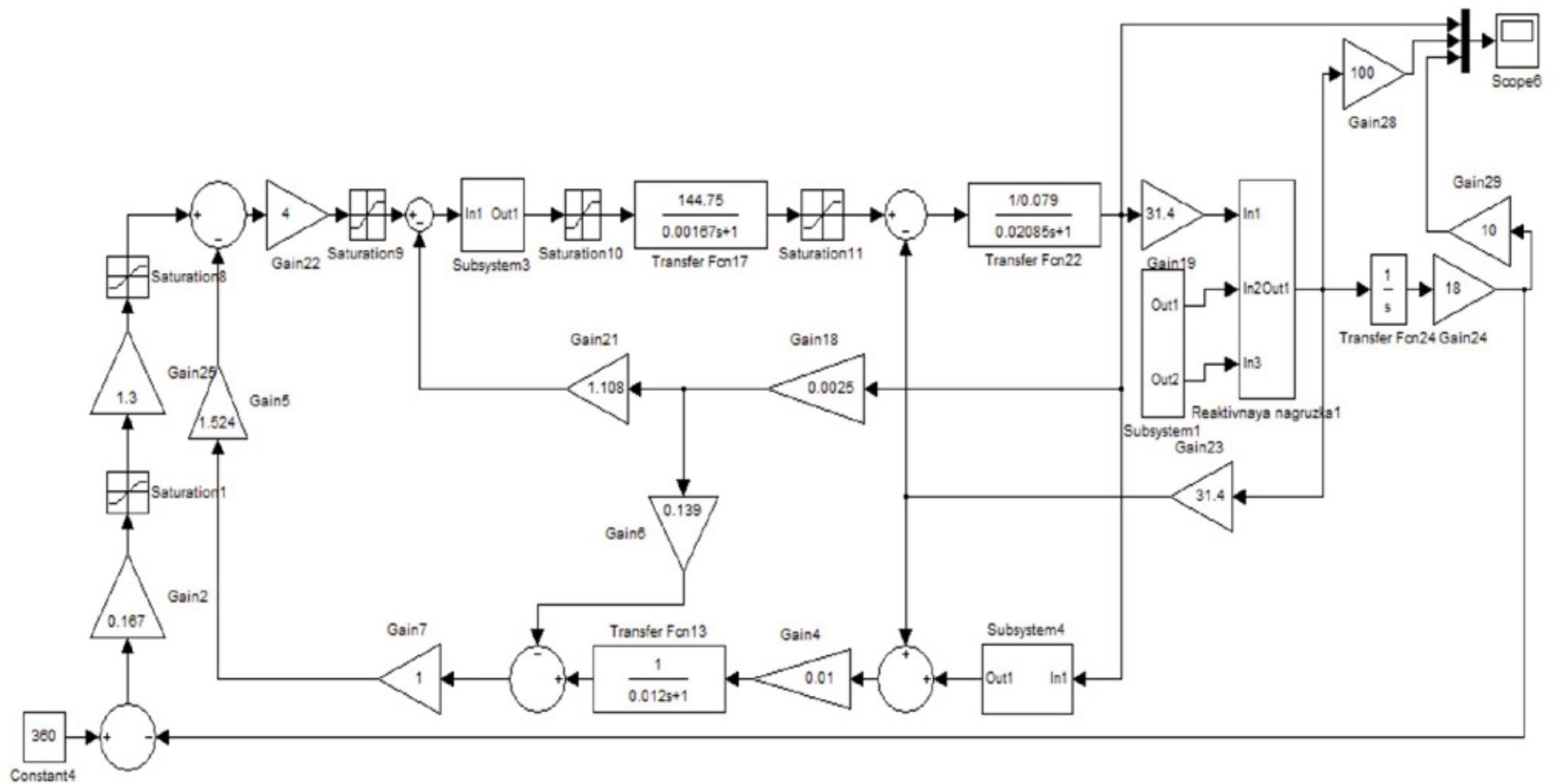


Рисунок 24–Схема набора имитационной модели электропривода ножниц среде MATLAB SIMULINK

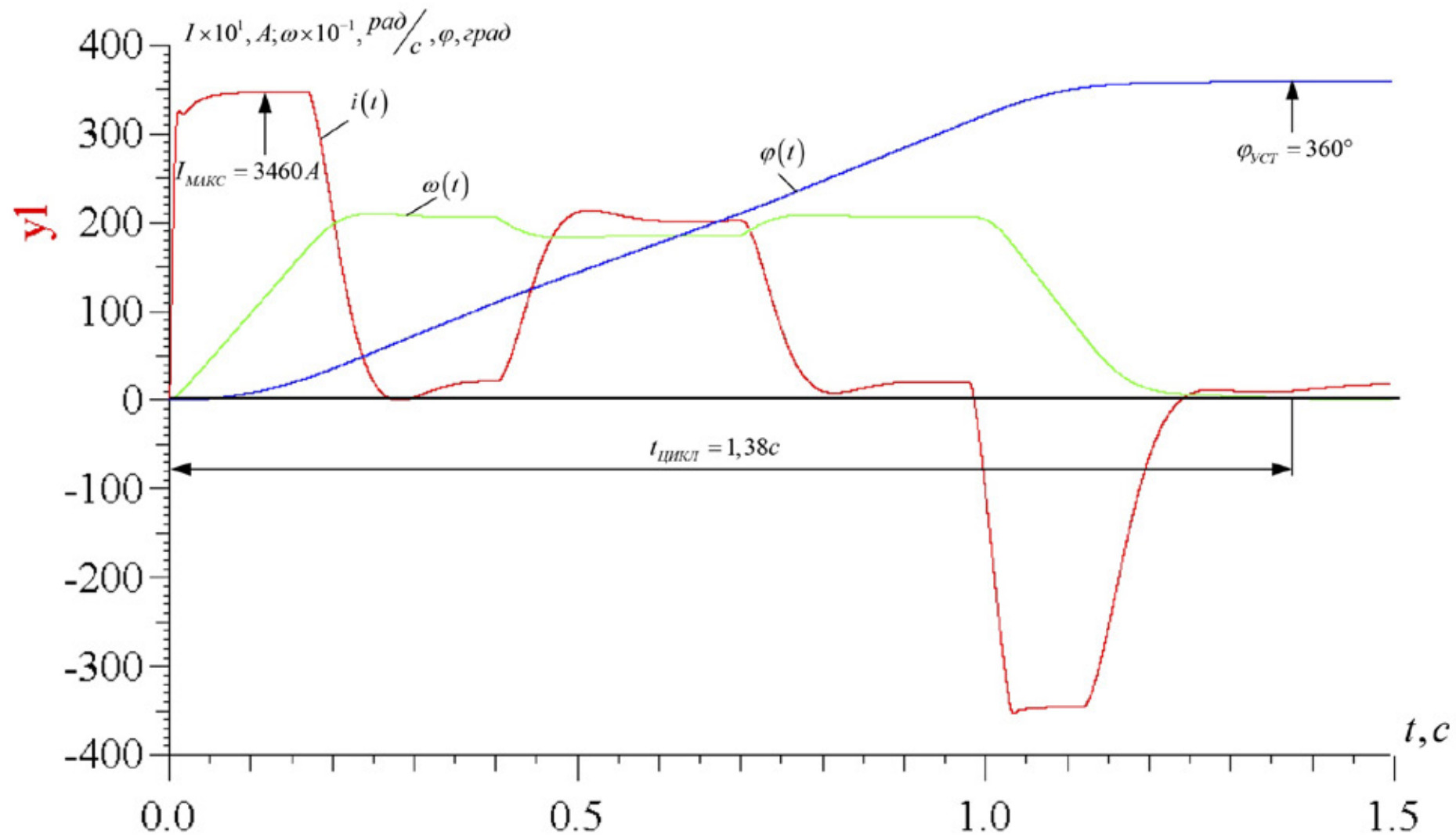


Рисунок 25—Полный цикл работы маятниковых ножниц

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Журавлёву Денису Сергеевичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Бакалавриат	Специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, и человеческих.</i>	<i>Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</i>	<i>Отчисления на социальные нужды () и амортизационные отчисления.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Расчёт затрат на проектирование систем отопления и вентиляции.*
2. *Определение прибыли и договорной цены проекта отопления и вентиляции.*
3. *Технико-экономический расчёт системы отопления.*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. *Расходы на этапе проектирования на материальные затраты.*
2. *Расходы на этапе проектирования на заработную плату.*
3. *Смета затрат.*
4. *Смета наличных капитальных затрат.*
5. *Результаты расчёта приведённых затрат.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Фигурко А. А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Журавлёв Денис Сергеевич		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела является определение целесообразности проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы:

- оценка потенциала и перспективности проведения технического проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, с помощью SWOT-анализа и интегральной оценки ресурсоэффективности;
- формирование графика работ по реализации технического проекта;
- составление сметы технического проекта.

3.1 SWOT-анализ технического проекта

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта. Применительно к проектируемой частотно-регулируемой системе электропривода, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы [1].

1. Сильные стороны – факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону технического проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции.

2. Слабые стороны – недостаток, упущение технического проекта, которые препятствуют достижению его целей.

3. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

4. Угроза – любая нежелательная ситуация в условиях окружающей среды проекта, которая имеет угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

Данные SWOT-анализа технического проекта приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая надежность системы электроснабжения. 2. Качественные материалы 3. Квалифицированный персонал. 4. Повышение безопасности производства. 5. Организация беспереывной подачи и качество эл. энергии 	<p>Слабые стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Потери в трансформаторах или линиях. 2. Дороговизна оборудования. 3. Аварийные ситуации. 4. Большой срок поставки оборудования и комплектующих.
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Экономия производительности энергоблоков 2. Уменьшение себестоимости путем внедрения новых технологий. 3. Автономное и резервное электроснабжение. 4. Повышение стоимости конкурентных систем. 	<p>V1C1C2C3C4;</p> <p>V2C1C2C4;</p> <p>V3C1C3C5;</p> <p>V4C1C2C5.</p>	<p>V1Cл1Cл2;</p> <p>V2Cл2;</p> <p>V4Cл2.</p>
<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Перегрузка электрических сетей. 2. Негативные изменения в отношениях с поставщиками. 3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции. 4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства 	<p>Y1C1C5;</p> <p>Y2C1;</p> <p>Y3C1;</p> <p>Y4C1C2.</p>	<p>Y1Cл1Cл3;</p> <p>Y4Cл2.</p>
<p>Принятые сокращения и обозначения: С – сильные стороны проекта; В – возможности; Cл – слабые стороны проекта; У – угрозы;</p>		

Соответствие сильных и слабых сторон технического проекта возможностям и угрозам, приведено в таблице 10,11

Таблица 10 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	-
	B2	+	+	-	+	-
	B3	+	-	+	-	+
	B4	+	+	-	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	B1	+	+	-	-	
	B2	-	+	-	-	
B3	-	-	-	-		
B4	-	+	-	-		

Таблица 11 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	-	-	+
	У2	+	-	-	-	-
	У3	+	-	-	-	-
	У4	+	+	-	-	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	У1	+	-	+	-	
	У2	-	-	-	-	
У3	-	-	-	-		
У4	-	+	-	-		

Принятые сокращения и обозначения: «+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Сильной стороной проекта является надежность системы электроснабжения благодаря непрерывной подачи электрической энергии, так как перерыв которой может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение сложного технологического процесса. Кроме того, возможность увеличения производительности энергоблоков, автономное резервное электроснабжение показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

3.2. Планирование проведения работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Перечень этапов работы и распределение исполнителей, приведен в таблице 4.

3.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования

В приведенной таблице 4, номерам работ соответствуют следующие виды работ:

№ 1 Составление и утверждения технического задания- включение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 Подбор и изучение материалов по теме технического задания- ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 Ознакомление с технической документацией- изучение источников технической документации;

№ 4 Расчет технологической части- расчет технологической части электропривода;

№ 5 Электромагнитный расчет двигателя;

№ 6 Выполнение графиков, схем- выполнение графиков, схем для технологической части и расчетной части двигателя;

Таблица 12– Перечень этапов работ

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителей
Разработка технического задания	1	Составление и утверждения технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме технического задания	Руководитель Дипломник
	3	Ознакомление с технической документацией	Дипломник
Теоретические и расчетные исследования	4	Расчет технологической части	Дипломник
	5	Электромагнитный расчет двигателя	Дипломник
	6	Выполнение графиков, схем	Дипломник
Оценка полученных результатов	7	Проверка выполненных расчетов	Руководитель
Разработка технической и экономической документации	8	Разработка раздела БЖД	Дипломник
	9	Разработка Экономического раздела	Дипломник
Оформление и проверка отчета по выполненной работе	10	Оформление пояснительной записки	Дипломник
	11	Проверка пояснительной записки	Руководитель
	12	Устранение недочетов и исправление ошибок	Дипломник
	13	Окончательная проверка устраненных недочетов и ошибок	Руководитель
Итоги проделанной работы	14	Размещение ВКР в Web-среде университета	Руководитель
	15	Подготовка к защите технического проекта	Руководитель Дипломник
	16	Защита технического проекта	Руководитель Дипломник

№ 7 Проверка выполненных расчетов- проверка расчетов технологической части и расчетов двигателя;

№ 8 Разработка раздела БЖД;

№ 9 Разработка Экономического раздела - выполнение SWOT- анализа, планирование работ по реализации технического проект, составление сметы затрат;

№ 10 Оформление пояснительной записки - оформление записки согласно методическим указаниям по подготовке и защите ВКР;

№ 11 Проверка пояснительной записки - проверка разделов пояснительной записки;

№ 12 Устранение недочетов и исправление ошибок – устранение недочетов, ошибок после первичной проверки технического проекта;

№ 13 Окончательная проверка устраненных недочетов и ошибок;

№ 14 Размещение ВКР Web-среде университета.

№15 Подготовка к защите технического проекта – подготовка иллюстрированного материала работы;

№ 16 Защита технического проекта;

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула [1]:

$$t_{ожi} = \frac{3 \times t_{mini} + 2 \times t_{maxi}}{5},$$

Где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел-дн.;

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

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

Продолжительность работ для разработки технического проекта представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Временные показатели проведения технического проектирования, чел-дн.

Наименование работ	Время минимальное		Время максимальное		Время ожидаемое	
	Руководитель	Дипломник	Руководитель	Дипломник	Руководитель	Дипломник
1. Составление и утверждения ТЗ	1	-	1	-	1	-
2. Подбор и изучение материалов по теме технического задания	1	12	3	14	2	13
3. Ознакомление с технической документацией	-	9	-	11	-	10
4. Расчет технологической части	-	5	-	8	-	6
5. Электромагнитный расчет двигателя	-	4	-	7	-	5
6. Выполнение графиков, схем	-	2	-	5	-	3
7. Проверка выполненных расчетов	1	-	1	-	1	-
8. Разработка раздела БЖД	-	9	-	12	-	10
9. Разработка Экономического раздела	-	9	-	12	-	10
10. Оформление пояснительной записки	-	10	-	12	-	11
11. Проверка пояснительной записки	1	-	1	-	1	-
12. Устранение недочетов и исправление ошибок	-	1	-	3	-	2
13. Окончательная проверка устраненных недочетов и ошибок	1	-	1	-	1	-
14. Размещение ВКР в Web-среде университета	-	1	-	1	-	1
15. Подготовка к защите технического проекта	1	2	1	5	1	3
16. Защита технического проекта	1	1	1	1	1	1
Итого:					8	77

3.2.3 Разработка графика технического проектирования

При выполнении ВКР, удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения работ в форме диаграммы Ганта – на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ[1].

На основе таблицы 5 строится календарный план-график с разбивкой по месяцам и декадам за период подготовки ВКР. (см. Таблицу 6, стр. 10)

Покалендарному план-графику видно, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с первой декады февраля и заканчивая второй декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составляет 77 рабочих дня.

Из них:

77 дня – продолжительность выполнения работ дипломником;

8 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

3.3 Составление сметы технического проекта

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

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

Таблица 13– Календарный план-график

Вид работ	Исполните ли	Продолжит ельность	Продолжительность выполнения работ											
			Март			Апрель			Май			Июнь		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1. Составление и утверждения ТЗ	Р	1												
2. Подбор и изучение материалов по теме технического задания	Р Д	2 13		■	■									
3. Ознакомление с технической документацией	Д	11			■	■								
4. Расчет технологической части	Д	6				■	■							
5. Электромагнитный расчет двигателя	Д	5					■	■						
6. Выполнение графиков, схем	Д	3						■	■					
7. Проверка выполненных расчетов	Р	1							■					
8. Разработка раздела БЖД	Д	10							■	■				
9. Разработка Экономического раздела	Д	10								■	■			
10. Оформление пояснительной записки	Д	12									■	■		

11. Проверка пояснительной записки	Р	1											■			
12. Устранение недочетов и исправление ошибок	Д	2											■			
13. Окончательная проверка устраненных недочетов и ошибок	Р	1											■			
14. Размещение ВКР в Web-среде университета	Д	1												■		
15. Подготовка к защите технического проекта	Р	1													■	
	Д	3													■	
16. Защита технического проекта	Р	1														■
	Д	1														■
<p>Принятые сокращения и обозначения: Раздел №2 – "Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение"; Раздел №3 – "Социальная ответственность"; ПЗ – пояснительная записка; Р – руководитель темы; Д – дипломник.</p>																

Исходя из составленного графика, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с первой декады марта и заканчивая во второй декаде июня.

3.3.1 Материальные затраты технического проекта

Данная статья включает стоимость технических средств, используемых при разработке проекта. Стоимость используемого оборудования приведена в таблице 14. [3], [4], [5].

Таблица 14 – Стоимость оборудования

Наименование оборудование	Кол-во, шт.	Цена, тыс. руб.
Комплектный тиристорный электропривод КТЭ – 1600/930Е	1	840
Автоматический выключатель А3712	1	1
Пускорегулирующая аппаратура	1	54
Итого*		895
* – оборудование поставляется комплектно по согласованию с заказчиком		

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$Z_{об} = k_T \times C_{об} ,$$

где $C_{об}$ – цена приобретения единицы оборудования (руб./шт.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, $k_T = 1,15$.

$$Z_{об} = 1.15 \cdot 895000 = 1.030 \text{ млн. руб.}$$

3.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (табл.5).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_d},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.;

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад по тарифной ставке, руб.	Доплаты и надбавки, руб.	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб.	Средняя заработная плата в день, руб.	Продолжительность работ, раб.дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	23.264	2.000	7579	32.843	1095	8	8.760
Дипломник	12.500	-	3750	16.250	542	77	41.734
Итого							50.494

Дополнительная заработная плата составляет 12-15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Дополнительная заработная плата, %	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	8.760	1.314	10.100
Дипломник	0,12	41.734	5.008	46.700
Итого:		50.494	6.322	57.000

3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 57.000 = 17 \text{ тыс. руб.}$$

3.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, невключенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величину накладных расходов принимаем в размере 16% от общей суммы затрат.

3.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 17

Таблица 17 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	1030,0	79
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	57,0	4
3. Отчисления во внебюджетные фонды	17,0	1
4. Накладные расходы	205,0	16
Итого	1309,0	100

Исходя из представленной выше сметы, можно сделать вывод, что сумма затрат на выполнение технического проекта составляет 1309,0 тыс. руб. Из них более половины (79 %) составляют затраты на оборудование.

3.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективность технического проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию электропривода маятниковых ножниц необходимо рассмотреть следующие критерии:

1. Надежность – к электроприводам маятниковых ножниц предъявляют высокий класс надежности. Чтобы обеспечить электропривод данным критерием, необходимо использовать при изготовлении ножниц высокотехнологичные материалы и поддерживать высокий уровень качества при его сборке.

2. Безопасность - обеспечивается выполнением герметичной конструкции электропривода маятниковых ножниц, подключение электрооборудования согласно норм и правил электробезопасности;

3. Энергосбережение – достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода;

4. Помехоустойчивость – достигается за счет классификации всех электроприемников по степени их помехоустойчивости и выбора точки их подключения с учетом электромагнитной обстановки. Эти меры позволяют снизить помехи электроприемников;

5. Удобство в эксплуатации – достигается расположения управляющего оборудования в удобном месте, а возможность диспетчеризации позволяет сократить количество осмотров системы за период эксплуатации.

Критерии ресурсоэффективности технического проекта и их количественные характеристики приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Критерии и количественные характеристики ресурсоэффективности

Критерии	Весовой коэффициент	Балловая оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Безопасность	0,25	5
3. Энергосбережение	0,16	4
4. Помехоустойчивость	0,20	4
5. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,14	5
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0.25 \cdot 5 + 0.25 \cdot 5 + 0.16 \cdot 4 + 0.20 \cdot 4 + 0.14 \cdot 5 = 4.64$$

Показатель ресурсоэффективности имеет высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа, определены сильные и слабые стороны технического проекта; установлено, что ТП имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности при техническом обслуживании;
- при планировании работ разработан график занятости для исполнителей технического проекта, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу;

- составление сметы, позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта;
- оценка ресурсоэффективности технического проекта, проведенная по интегральному показателю, показала высокий результат (4,64 балла по 5-балльной шкале), что говорит о эффективности реализации проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет повысить эффективность работы, путем улучшения ресурсоэффективности и ресурсосбережения при внедрении частотно-регулируемого электропривода, требующего меньше затрат в процессе эксплуатации.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Журавлеву Денису Сергеевичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

- *Анализ: ОАО ЗСМК, прокатное производство, непрерывно–заготовочного стана обжимного цеха на наличие:*
- *вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)*
- *опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)*
- *негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды;*
Основными вредными факторами агломерационного цеха являются:
Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций);
Загазованность;
Шум и вибрация;
Отклонение показателей микроклимата;
Недостаточная освещенность рабочей зоны.

2. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды;*
Опасными факторами агломерационного цеха являются:
Возможность получения травм в следствии:
а) движения машин и механизмов;
б) движение производственного материала;
в) Наличие высокого напряжения.
Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

3. *Охрана окружающей среды:*
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

4. *Защита в чрезвычайных ситуациях:*
- перечень возможных ЧС на объекте;
- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;
разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

5. *Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:*

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Перечень графического материала:

План эвакуации при пожаре

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф.ЭБЖ.	Сечин А.А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Журавлеву Денису Сергеевичу		

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 также 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. [12]

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

К опасным факторам при наладке электропривода маятниковых ножниц относятся

- высокая температура;
- наличие движущихся агрегатов и механизмов;
- наличие высокого напряжения.

К вредным факторам при наладке электропривода относятся:

1. Производственный шум – от работы различных механизмов, шум трансформатора, шум работающих кранов.
2. Загазованность – вредные газы при работе с паяльником, общецеховая загазованность.
3. Освещенность-отсутствие или недостаток естественного света, недостаток освещенности рабочей зоны.
4. Запыленность.

5. Тепловое излучение
6. Электромагнитное излучение.
7. Отклонение показателей микроклимата.

4.2 Техника безопасности

Техника безопасности при ремонте и обслуживании электрооборудования маятниковых ножниц соответствует правилам устройств электроустановок и предусматривает:

1. Назначение лиц, ответственных за безопасность работ. Такими лицами являются производители работ, начальники участков, мастера и бригадиры монтажных работ.

2. Включение, в проект производства работ, решений по созданию условий для безопасного и безвредного производства, по санитарно-гигиеническому обслуживанию работающих, по достаточному освещению рабочих мест (наличие безопасных путей для прохода рабочих, применение ограждения движущихся частей машин и механизмов [ГОСТ 12.2.062-81 (1985)], применение бирочной системы или наряда-допуска, строгое соблюдение правил техники безопасности, применение звуковой и световой сигнализации [ГОСТ 12.4.026-76 (1987)], исправное состояние спецодежды [ГОСТ Р 12.4.218-99], применения заземления и зануления оборудования [ГОСТ 12.1.030-81 (1996)], и т.д.).

Важную роль в обеспечении безопасности труда для электротехнического персонала играют электротехнические средства защиты и предохранительные приспособления [ГОСТ 12.4.103-83 (1987)].

При выполнении работ необходимо соблюдать следующие правила:

1. Весь персонал должен иметь удостоверения: о ежегодной проверки знаний по технике безопасности.

2. Все работающие должны быть ознакомлены с правилами оказания первой медицинской помощи пострадавшему от электрического тока. Запрещается во время работы электрических машин касаться токоведущих

частей, открывать дверцы и люки кожухов, а также снимать защитное ограждение.

3. Вращающиеся части машин должны быть ограждены [ГОСТ 12.2.062-81 (1985)].

4. Корпуса всех электроустановок должны быть надежно заземлены [ГОСТ 12.1.030-81 (1996)].

5. В электрических схемах должна быть предусмотрена защита от перегрузки и короткого замыкания.

6. Доступ к работе должен производиться только после выполнения всех технических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность при проведении работ.

Важной мерой, обеспечивающей электробезопасность обслуживающего персонала, является защитное заземление металлических, не токоведущих (конструктивных) частей электрооборудования привода, нормально не находящихся под напряжением относительно земли, в случае повреждения изоляции электродвигателя, аппаратов управления, сетей и т. п.

Правила устройства электроустановок предписывают, чтобы при напряжении 500В и выше, все металлические токоведущие части электрооборудования и имеющие с ними электрический контакт корпуса, конструкции механического оборудования были заземлены.

Защитное действие выносного заземления обусловлено только малой величиной его сопротивления. Согласно ПУЭ, при напряжении до 1000В, сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

4.3 Производственная санитария

Промышленное предприятие ОАО «ЗСМК» расположено на удалении 25 км от города Новокузнецка в специально выделенном промышленном районе. Цеха, с вредными выделениями, выделяются расположением с подветренной стороны по отношению к другим цехам. В необходимых случаях применяется пылеулавливание и газоочистка.

Территория предприятия не только удовлетворяет требованиям производства, но и всем санитарным нормам: она ровная, хорошо освещена, имеет достаточной величины проходы и проезды

Для обеспечения оптимальных санитарно-бытовых условий труда, определяющее значение имеет тип здания, расположение в нем рабочих помещений, их объемов, площадь, приходящаяся в среднем на одного рабочего и другое.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура воздуха в помещении, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха. Эти параметры в комплексе и по отдельности влияют на организм человека. В цехе во все периоды года поддерживается одна температура и относительная влажность (таблица 19).

Для поддержания в рабочем помещении в холодное время года температуры воздуха 22 – 24°С используют систему отопления на трубчатых, самоварных регистрах. [СанПиН 2.2.4.548-96].

Таблица 19

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Теплый	Легкая, 1Б	22 - 24	20-28	60-40	15-75	0,1	0,1-0,3
Холодный, переходный	Легкая, 1Б	21 - 23	19-24	60-40	15-75	0,1	0,1-0,2

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в помещении, устранение таких вредных факторов, как пыль, пар, избыточное тепло и влага. В соответствии площадь на одного человека в помещении должна быть не меньше 4.5 м² и

объем не менее 15 м³. Воздухообмен должен составлять не менее 20 м³/ч. Работы, проводимые в помещении, относятся к легкой категории тяжести.

Оптимальный микроклимат в помещении оператора поддерживается с помощью принудительной вентиляции и кондиционирования, а также отопления.

В процессе производства обеспечивается непрерывная работа всех основных приточно-вытяжных и аспирационных, вентиляционных установок.

В производственных помещениях предусмотрено рабочее и аварийное освещение в соответствии с требованиями.

Источники питания аварийного освещения соответствуют требованиям ПУЭ. Включение отключение рубильников общего освещения в здании цеха, смена и чистка светильников, арматуры и ламп, смена штепсельных розеток и предохранителей, монтаж и демонтаж производится только электротехническим персоналом.

Нормальная освещенность рабочего места зависит от характера работ и составляет согласно для помещения оператора 400 лк, для общего освещения 50 лк группа региона 1 (Кемеровская область).

Светильники рабочего и аварийного освещения расположены так, что обеспечивается надежность крепления, безопасность и удобство обслуживания.

Технологические операции во время проката и передвижению продукции по рольгангам, сопровождаются образованием шумов низкой и высокой частоты.

Технологические процессы, сопровождающиеся особо резким шумом, проводят в изолированных зданиях. В отделениях и цехах устанавливают звукоизолированные кабины для обслуживающего персонала. Устанавливают глушители шума на выхлопные и всасывающие отверстия машин.

Наряду с образованием шумов технологические процессы сопровождаются вибрацией. Для борьбы с вибрацией предусмотрены виброгасящие фундаменты. Широко применяются виброизоляционные материалы из листов, стальных пружин и резиновых прокладок. Строительные конструкции и стены цеха выложены из листов с нанесением

вибропоглощающего покрытия (в основе резина). В качестве индивидуальной защиты рабочий персонал носит обувь на толстой резиновой подошве.

Питьевой режим организован в соответствии с санитарными нормами.

Прием пищи производится только в столовых и буфетах. Прием пищи на рабочих местах запрещен.

Санитарно – бытовое помещение предназначено для нужд работающего персонала. Сюда относятся гардеробы с душевыми комнатами, комнаты для просушки спецодежды, помещения для приема пищи и здравпункт.

4.4 Расчет защитного заземления маятниковых ножниц

Защитным заземлением, выполняемым для обеспечения электробезопасности, называется преднамеренное металлическое соединение с заземляющим устройством элементов электроустановок, нормально не находящихся под напряжением. Расчет защитного заземления произведем для привода маятниковых ножниц. Периметр здания ограничивает площадь $S=13728 \text{ м}^2$, мощность двигателя $P=1120 \text{ кВт}$. Привод постоянного тока

напряжением $U=718 \text{ В}$. Удельное электрическое сопротивление грунта в зоне размещаемого заземлителя составляет $R_t=100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Коэффициент сезонности вертикального $K_{св}=1.3$, для горизонтального $K_{сг}=2.5$. Допустимое (нормативное) сопротивление, в электроустановках напряжением выше 1000 В с большими токами короткого замыкания $I_{кз}>500 \text{ А}$.

Тип заземляющего устройства - система вертикальных электродов, соединенных горизонтальной полосой. В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы диаметром $D=0.06 \text{ м}$ и длиной $L=2.5 \text{ м}$. Помещение машзала стана НЗС относится к категории повышенной взрыво- и пожароопасности, где применение естественных проводников в качестве основных заземлителей не допускается.

Порядок расчета:

1. Удельное электрическое сопротивление грунта для вертикального и горизонтального электрода

$$R_B = R_t \times K_{CB} = 100 \times 1.3 = 130 \text{ Ом,}$$

$$R_r = R_t \times K_{cr} = 100 \times 2.5 = 250 \text{ Ом.}$$

2. Сопротивление растеканию тока имеющихся естественных заземлителей (железобетонного фундамента производственного здания)

$$R_e = \frac{R_r}{\sqrt{S}} = \frac{250}{\sqrt{13728}} = 2.134 \text{ Ом.}$$

3. Находим допустимое сопротивление искусственного заземления

$$R_n = \frac{R_e \times R_H}{R_e - R_H} = \frac{2.134 \times 0.5}{2.134 - 0.5} = 0.653 \text{ Ом.}$$

4. Сопротивление одиночного вертикального электрода

$$R_s = \frac{R_e}{2 \times \rho \times L} \times \left(\ln \frac{4 \times L}{D} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \times h \vartheta + L \vartheta}{4 \times h \vartheta - L \vartheta} \right) = \frac{130}{2 \times \rho \times 2.5} \times \left(\ln \frac{4 \times 2.5}{0.06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \times 1.85 + 2.5}{4 \times 1.85 - 2.5} \right) = 43.72 \text{ Ом.}$$

5. Определяем необходимое число вертикальных электродов

$$N = \frac{R_s}{R_n \times h_s} = \frac{43.72}{0.653 \times 0.58} = 115.$$

6. Находим длину горизонтального проводника, соединяющего вертикальные электроды, при расположении по контуру

$$L = 5.25 \times N = 5.25 \times 115 = 604 \text{ м.}$$

7. Рассчитываем сопротивление горизонтальной полосы

$$R_n = \frac{0.366 \times R_e}{L} \times \ln \frac{2 \times L^2}{b \times t} = \frac{0.366 \times 250}{604} \times \ln \frac{2 \times 604^2}{0.04 \times 0.6} = 2.6 \text{ Ом.}$$

8. Определяем сопротивление горизонтальной полосы с учетом коэффициента использования

$$R_{n1} = \frac{R_n}{h_n} = \frac{2.6}{0.35} = 7.42 \text{ Ом.}$$

9. Допустимое сопротивление естественного заземлителя

$$R_{\epsilon} = \frac{R_{n1} \times R_n}{R_{n1} - R_n} = \frac{7.42 \times 0.5}{7.42 - 0.5} = 0.536 \text{ Ом.}$$

10. Уточним необходимое количество вертикальных электродов

$$N_{\epsilon} = \frac{R_{\epsilon}}{R_{\epsilon} \times h_{\epsilon}} = \frac{43.72}{0.536 \times 0.58} = 141.$$

Вывод: Мы рассчитали общее количество вертикальных электродов, оно составило 115 шт. Так же рассчитали длину проводника по контуру, оно составило 604м.

4.5 Пожарная безопасность

Соблюдение правил противопожарной безопасности является важным условием нормальной эксплуатации оборудования и выполнения технологических требований.

Цех относится к категории Г (согласно НПБ 105-03). Но в цехе имеются помещения, которые могут быть отнесены и к более высокой категории пожароопасности: маслоподвалы, характеризующиеся наличием большого количества масла для нужд стана, которое способно к воспламенению, можно отнести к категории В; проходы около газопроводов, подающих топливо в печь, характеризующиеся наличием легковоспламеняющегося газа, можно отнести к категории А.

Организационные мероприятия по пожарной профилактике предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве

электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Причиной загорания может быть:

1. Нарушение нормальной работы машин и механизмов.
2. Перегрузки электрических сетей.
3. Нарушение правил пожарной безопасности.
4. Неисправность электропроводки и электрооборудования;
5. Не правильное хранение и применение горюче-смазочных материалов;
6. Не осторожное обращение с открытым огнем.

Необходимо предусмотреть ряд мер, направленных на обеспечение тушения пожара:

обеспечить подъезды к зданию;

обесточивание электрических кабелей;

наличие пожарных щитов и ящиков с песком в коридорах, асбестовое полотно;

наличие гидрантов с пожарными рукавами;

тепловая сигнализация;

телефонная связь с пожарной охраной;

огнетушители: химический пенный ОХП-10, углекислотный ОУ-5, порошковый ОП-1.

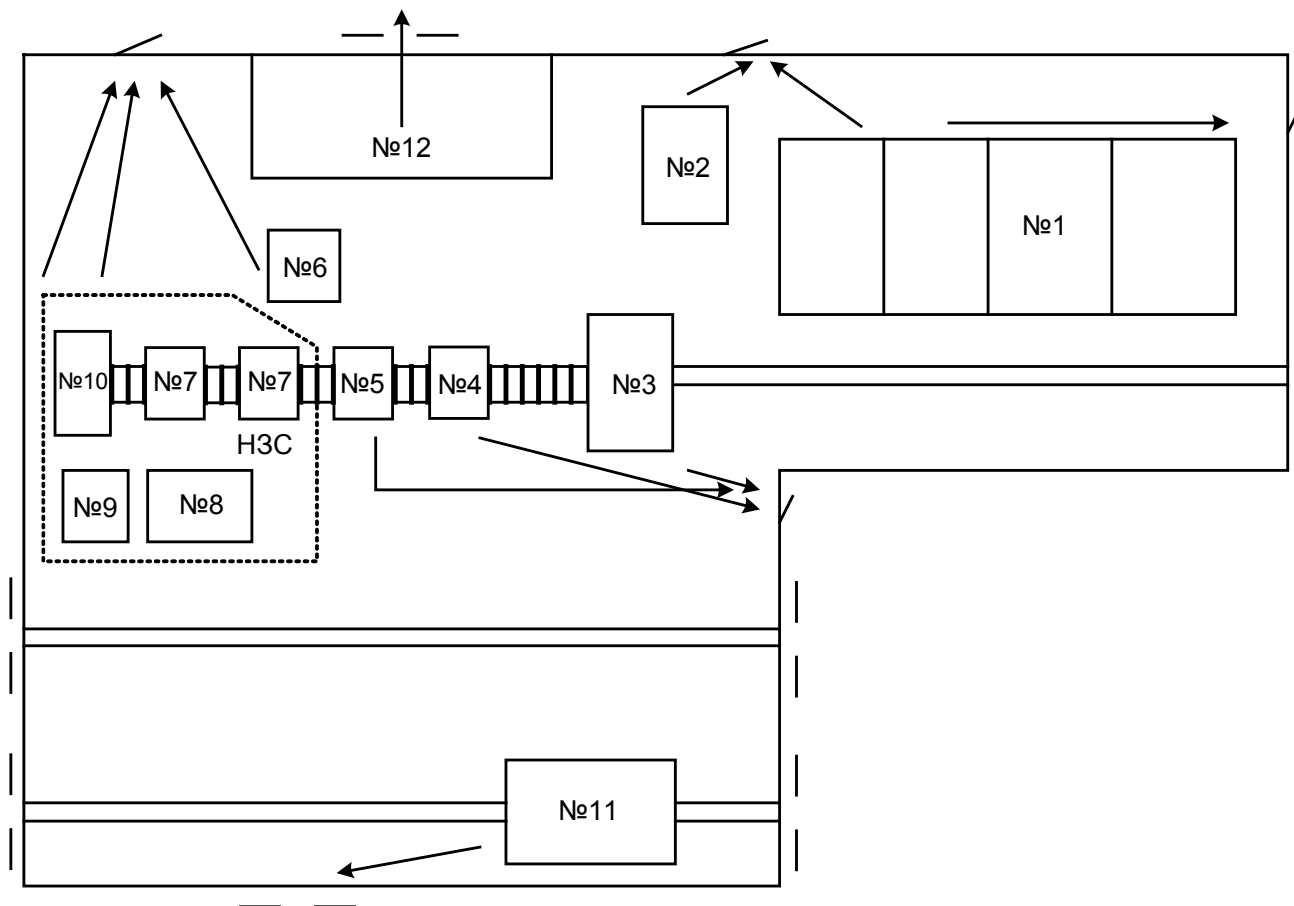


Рисунок 26–План эвакуации обжимного цеха

4.6 Охрана окружающей среды

По валовым выделением пыли и образованию газов прокатное производство относится к наименее тяжелым участка металлургического производства.

Нагрев и горячая прокатка слитков способствует образованию значительного количества окалины. Технологический процесс связан с применением большого количества воды для смыва и транспортировки окалины, охлаждения прокатных валков, роликов рольгангов и проводковой арматуры. Высокая степень механизации технологического процесса требует применения в большом количестве масел и смазок.

Технология нагрева и прокатки слитков включает в себя отходы производства, воздействующие на окружающую среду:

- дымовые газы, сварочный шлак, окалину и пыль в отделении нагревательных колодцев;
- окалину и пыль на стане 1250;
- обрезь на ножницах горячей резки блюминга 1250 и НЗС;
- обрезь, окалину и пыль на адьюстаже при порезке и обработке заготовок ручными резаками и на шлиф овално-обдирочных станках;
- воду с примесями окалины, масел и смазок по линии прокатки на блюминге 1250, НЗС и складе, горячих заготовок.

Технологический процесс прокатки слитков на стане сопровождается дроблением и истиранием окалины. Это способствует большому выделению крупно - и мелкозернистой пыли, содержащей Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO , Mn_2O_3 , SiO_2 и др. Для отсоса пыли из клетки 1250 применяется аспирационная установка АС-1, состоящая из пылеотборного короба, установленного над раскатным рольгангом за клетью, газохода, дымососа Д-20 производительностью 150000 м³/час, увлажнителя пыли во втором газоходе и трубы. Установка АС-1 должна работать при работе блюминга. Окалина смывается потоком воды от увлажнителя пыли и в виде шлака поступает по наклонному желобу в яму для отстоя окалины блюминга.

В процессе огневой зачистки металла выделяется большое количество тепла, водяных паров, продуктов сгорания и мелкодисперсной металлической пыли.

Химический состав пыли в продуктах сгорания представлен оксидами железа до 90%, а газы содержат до 70% азота. Для очистки газов и пыли установлена система двойной очистки.

Отсос продуктов сгорания от МОЗ осуществляется через газо-отборный короб, установленный над рольгангом перед машиной, подземной орошаемый бором и газоход с противоточной подачей воды. Система газоочистки состоит из трех параллельных ниток. Каждая нитка включает в себя, пылеулавнитель(труба Вентури), циклон и дымосос. Первая и третья нитки оснащены дымососами типа ВМ20А, а вторая ВМ 100/1200.

Эксплуатационная производительность каждой нитки составляет 90000 м³/час, одна из которых находится в резерве. В каждом пылеулавителе предусмотрено предварительное орошение газов водой через форсунки для коагуляции мелкодисперсных частиц пыли, а мокрые циклоны являются улавливателями и коагуляторами мелких капель, состоящих из воды и пыли. Скоагулированные частицы вместе с водой из пылеулавителя поступают в отстойник оборотного цикла прокатных цехов, а очищенные продукты сгорания через трубу выбрасываются в атмосферу.

В процессе абразивной зачистки на станках образуется большое количество мелкодисперсной пыли, состоящей из соединения кремния, марганца, стружки металла и других веществ. Для отсоса пыли в цехе предусмотрено четыре пылеотсасывающих установки АС-2 с производительностью вентиляторов 50000 м³/час. Отсос пыли осуществляется без увлажнения, через установку, состоящую из пылеулавителя, короба отделения пыли от стружки, воздуховода, четырех циклов, вентилятора и выхлопной трубы.

Нормативы предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу от источников обжимного цеха приведены в таблице 21.

Таблица 21- Норматив предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу

Источник выделения вредных веществ (агрегат, установка)	Выбросы вредных веществ в атмосферу т/год		
	Наименование веществ	Базовый выброс	Предельно допустимый выброс
Нагревательные колодцы	Пыль	59	60
	Окись углерода	2668.9	2660
	Сернистый ангидрид	479.7	480
	Окислы азота	58.4	50
	Бензоперен	0.00015	0.00015

Клеть 1250 АС- 1	Пыль	22.53	30
МОЗ	Пыль	92.8	110
	Окись углерода	1319.8	1310
	Сернистый ангидрид	3.9	9
	Окислы азота	139.1	140
Зачистные станки АС- 2	Пыль	27.63	30
Итого:	Пыль	201.86	238
	Окись углерода	438.6	489
	Сернистый ангидрид	3988.7	3970
	Окислы азота	197.5	190
	Бензоперен	0.00015	0.00015

Поступающие в атмосферу окислы углерода, азота, пыль и т.д. оказывают различное токсичное воздействие на организм человека. Так, окислы азота воздействуют на органы дыхания, приводят к отеку легких. Превышение нормативной величины окислов азота практически в 2 раза внушает опасение, т.к. в черте города окислы азота, взаимодействуя с углеводородами выхлопных газов, образуют фотохимический туман смог. Оксид углерода воздействует на нервную и сердечно-сосудистые системы. Источниками атмосферной пыли является зола, образующаяся при сгорании топлива. Сажа обладает большой адсорбционной способностью по отношению к тяжелым углеводородам и в том числе к бензаперену, что делает сажу весьма опасной для человека.

Снижение вредных выбросов в атмосферу позволит цеху значительно увеличить прибыль, прежде всего за счет того, что не будет необходимости в уплате из прибыли штрафных санкций в бюджет и внебюджетные фонды за нарушение требований по охране окружающей среды.

Организационные мероприятия

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 в себя включает разработку и проектирование электропривода маятниковых ножниц непрерывно-заготовочного стана обжимного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

В систему автоматизированного управления электроприводом ножниц входят: электродвигатель постоянного тока, преобразователь тиристорный, управляющая и передаточная системы, представляющие вместе непростую структуру электромеханическую. Кроме того, на характер работы этой системы оказывает главное действие специфика производства прокатного, что дополнительно предъявляет ряд целый запросов к этой системе электропривода маятниковых ножниц.

В итоге проектирования разработанный электропривод, полностью соответствующий требованиям задания технического и процесса технологического. Характеристики электромеханические системы преобразователь-двигатель в мере полной наполняют заданную область работы характеристик, электропривода проектируемого в плоскости координат $\omega(I)$. Характеристики статические системы замкнутой электропривода с П-регулятором положения, скорости (ЭДС) и ПИ-регулятором тока обеспечивают заданную точность поддержания скорости и значение максимального тока допустимого.

Показатели динамические качества работы следящего ЭП во всём диапазоне регулирования по скорости которые полностью удовлетворяют всем требованиям технического задания.

Также электропривод маятниковых ножниц оснащён системой сигнализации и защит, которые обеспечивающей безопасную и безаварийную работу.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выпускной квалификационной работы разобраны вопросы планирования, финансирования и проведения пуско-наладочных

работ электропривода. Разработана смета на проведение ПНР и график проведения пусконаладочных работ.

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

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. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

25. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с., ил..

Интернет ресурсы

26. <http://www.elec.ru/>

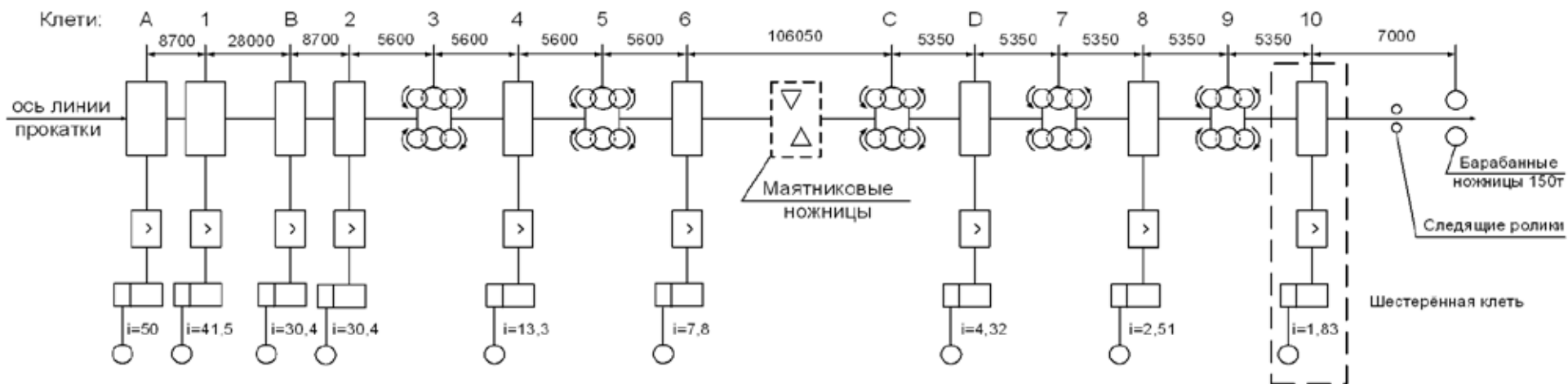
27. <http://www.elp.ru/>

28. <http://tehprivod.ru/>

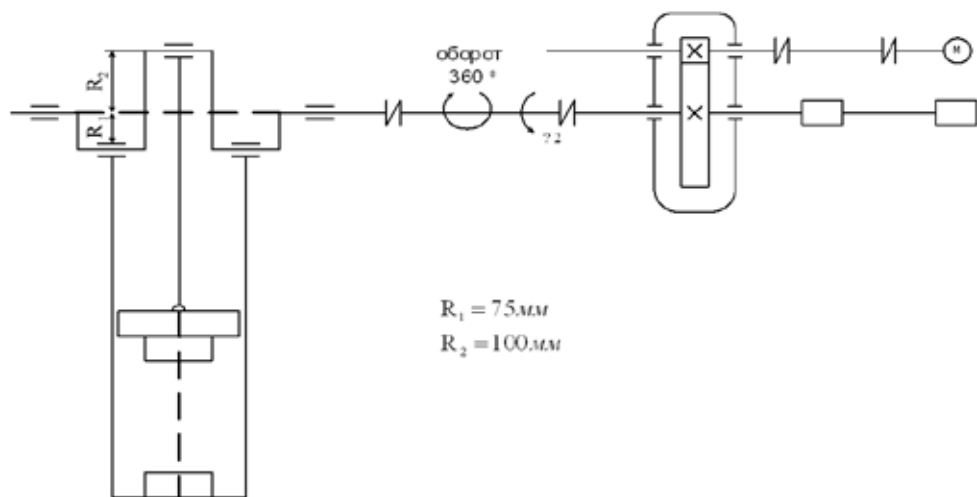
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Графический материал

Схема непрерывно - заготовочного стана

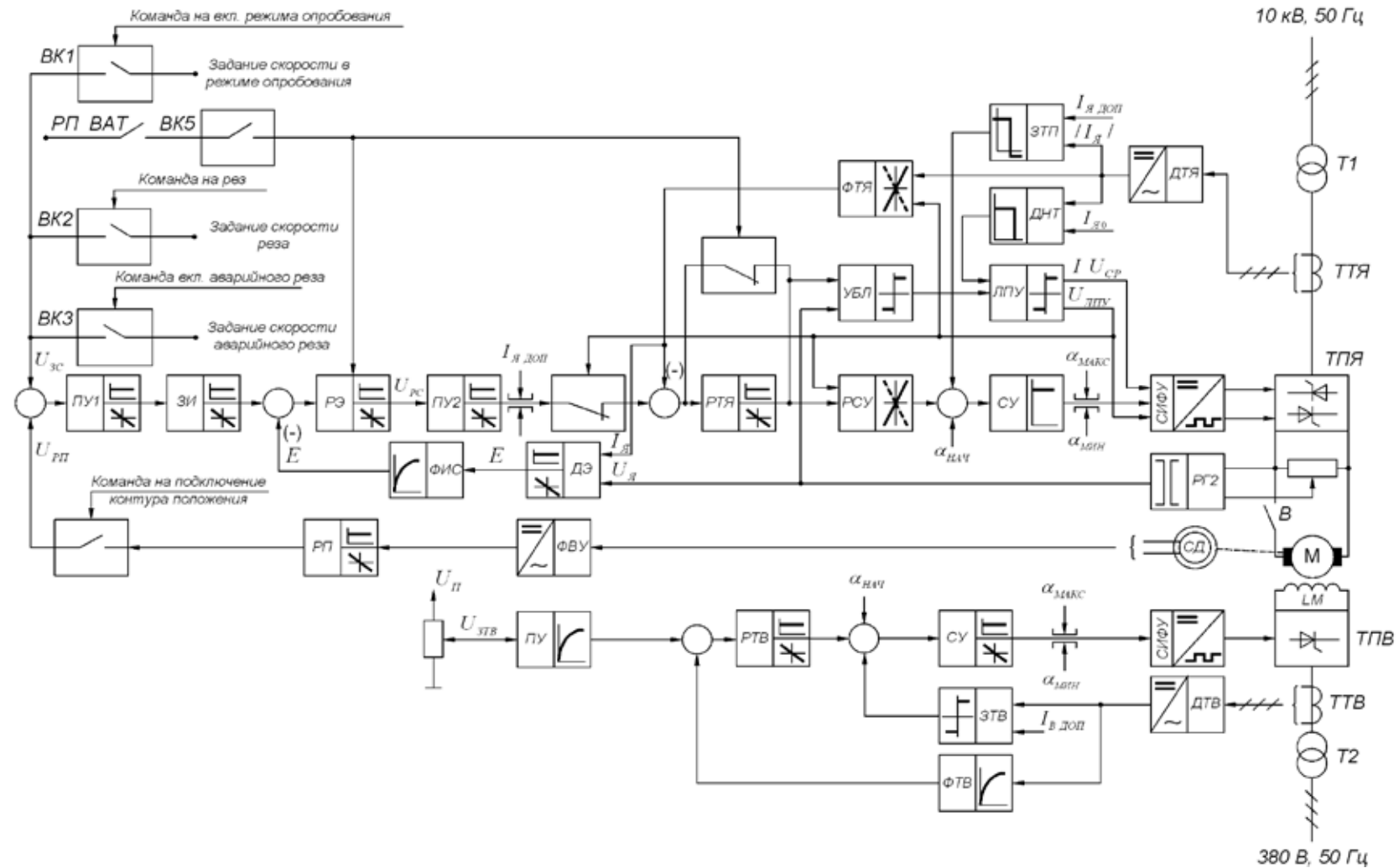


Кинематическая схема маятниковых ножниц

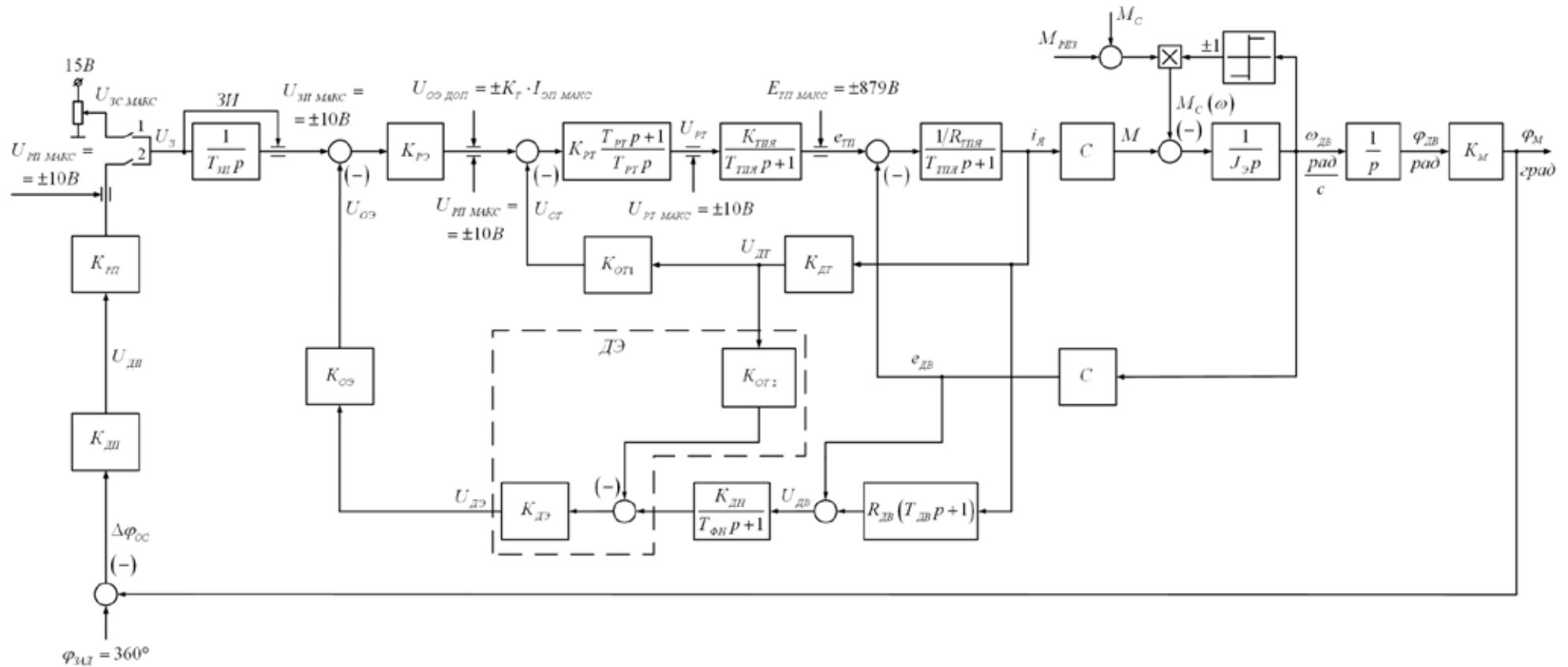


Клеть № п.п.	Размеры валков, мм	
	Диаметр валков	Длина бочки
A	850/770	1200
1	850/770	1200
B	850/770	1200
2	850/770	1200
3	730/660	900
4	730/660	1200
5	730/660	900
6	730/660	1200
C	730/660	900
D	730/660	1200
7	580/530	800
8	580/530	800
9	580/530	800
10	580/530	800

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАЯТНИКОВЫХ НОЖНИЦ

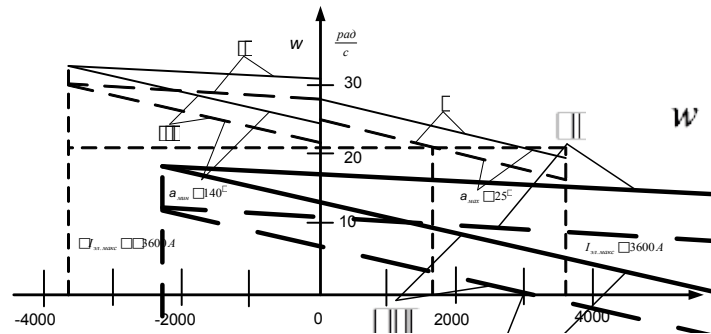


СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАЯТНИКОВЫХ НОЖНИЦ



1-Ключ включения регулируемого режима

2-Ключ включения следящего режима



Заданная область работы и
электромеханические характеристики
разомкнутой системы ТП-Д

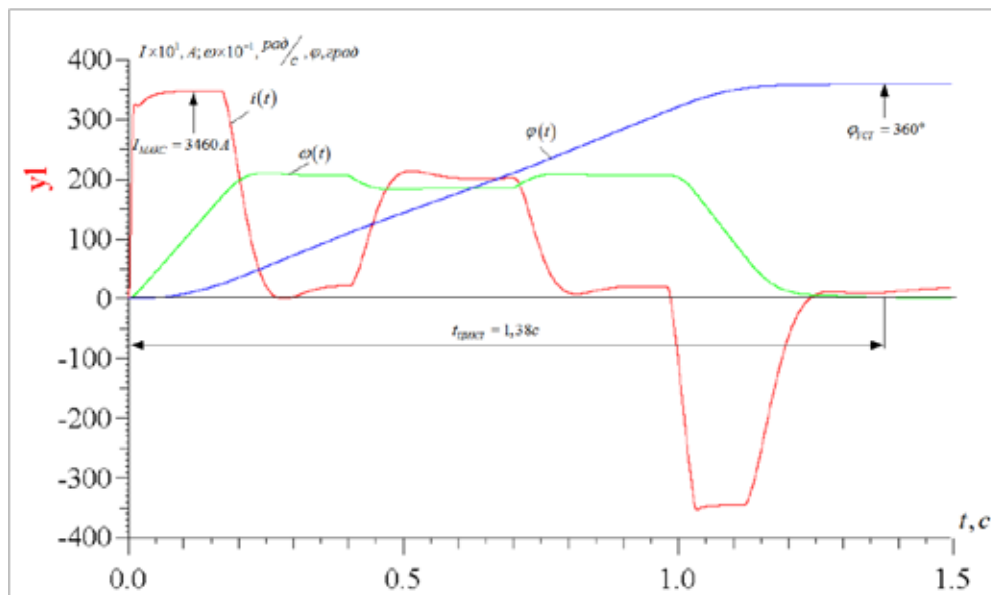


Диаграмма цикла работы электропривода маятниковых ножиц
при резе металла