

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Электропривод перемещения индуктора закалочного станка</b>

УДК 62-83:621.785.545.07

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Топилов Аскарбек Абдужаббор угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Розаев И.А.			

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ А.С. Ивашутенко

(Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Топилову Аскарбеку Абдужаббор угли

Тема работы:

**Электропривод перемещения индуктора закалочного станка**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2019г.

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>- схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

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

**Задание выдал руководитель / консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		05.04.2019г.
Ассистент	Розаев И.А.			05.04.2019г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Топилов Аскарбек Абдужаббор угли		05.04.2018г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

#### СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		

#### Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Розаев И.А.			

#### СОГЛАСОВАНО:

**И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 110 с., 40 рисунка, 13 таблиц, 33 источников, 2 приложения.

Объектом исследования данной работы является электропривод перемещения индуктора вертикального закалочного станка.

Цель работы – спроектировать электропривод, удовлетворяющий требованиям технического задания.

Система управления электропривода исследована на ЭВМ методом итерационного моделирования в линеаризованном и нелинейном представлении с использованием прикладных программ.

В работе производились исследования проектируемого электропривода при введении ограничения выходного напряжения регуляторов, зависимого токоограничения. Механическая система рассмотрена в одномассовой и двухмассовой представлении.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word . в работе использованы программы Mathcad,. Matlab.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Спроектировать электропривод подачи индуктора вертикального закалочного трансформатора, удовлетворяющий следующим требованиям:

1. Обеспечение требуемых скоростей перемещения индуктора.
2. Привод должен обеспечивать бесступенчатое регулирование подачи.
3. Обеспечение необходимой тяговой силы в приводе для перемещения рабочего органа.
4. Минимальные и постоянные силы и моменты трения в приводе.
5. Высокая надежность привода.
6. Простота изготовления, сборки и обслуживания привода.
7. Аналоговый сигнал задания, соответствующий максимальной скорости  $\pm 10\text{В}$ .
8. Электропривод должен быть реверсивным, т.е. обеспечивать движение индуктора вверх и вниз.
9. Электропривод должен иметь следующие виды защит: от короткого замыкания, от токовых перегрузок, от перенапряжений, от исчезновения напряжения сети, от потери информации датчика скорости.
10. Параметры питающей сети:  $U_{\text{л}}=380\text{ В}$ ;  $f_{\text{с}}=50\text{ Гц}$ .

<b>Содержание</b>	
ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	12
1.1 Технологический процесс цеха.....	12
1.2 Технологический процесс вертикального закалочного станка. Кинематическая схема механизма перемещения индуктора.....	13
1.3 Обоснование и выбор системы электропривода.....	22
1.3.1 Сравнительный анализ приводов постоянного и переменного тока .....	22
1.3.2 Обоснование и выбор способа регулирования координат.....	23
1.3.3 Требования к электроприводу .....	26
1.4. Выбор элементов и расчет параметров силового канала РЭП.....	29
1.4.1 Расчет мощности и выбор электродвигателя .....	29
1.4.2 Расчет параметров механической системы.....	32
1.4.2 Выбор комплектного электропривода.....	39
1.4.3 Функциональная схема электропривода и ее основные элементы.....	40
1.4.4 Выбор трансформатора.....	43
4.5 Выбор сглаживающего реактора.....	46
1.4.6 Расчет параметров силовой цепи .....	48
1.4.7 Проверка области существования электромеханических характеристик электропривода.....	49
1.4.8 Расчет параметров преобразователя.....	56
1.4.9 Структурная схема и параметры силового канала.....	59
2 СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	62
2.1 Структурная схема линеаризованной САУ РЭП.....	63
2.2 Синтез оптимальных настроек линеаризованной САУ РЭП .....	65
2.3 Расчет статических характеристик и погрешности скорости.....	66
2.4 ЛАЧХ оптимизированного контура САУ РЭП .....	70
2.5 Анализ нелинейной САУ РЭП .....	72
2.5.1 Структурная схема нелинейной САУ РЭП.....	72
2.5.2 Расчет и анализ динамических показателей привода.....	74
ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» .....	78
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	79



3.1 SWOT-анализ работы Электропривода перемещения индуктора закалочного станка в АГМК .....	79
3.2 Организация работ технического проекта.....	82
3.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования.....	82
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП .....	85
3.3 Разработка графика проведения технического проекта.....	85
3.4 Расчёт затрат на осуществление технического проекта .....	89
3.4.1 Расчет материальных затрат технического проекта.....	89
3.4.2 Полная заработная плата исполнителей темы .....	90
3.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	91
3.4.4 Накладные расходы.....	92
3.4.5 Формирование сметы затрат технического проекта .....	92
3.4.6 Определение ресурсоэффективности проекта .....	93
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	96
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	98
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	99
4.2 Производственная безопасность объекта исследования.....	99
4.2.1 Анализ опасных и вредных факторов .....	100
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	117

## ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе технического развития существенно возрастает роль автоматизированного электропривода, который в значительной мере стал определять прогресс в областях техники и технологии, связанных с воспроизводством механических движений, получаемых путём электромеханического преобразования энергии. Многообразие технологических требований к качеству механических движений, с одной стороны, обеспечило прогресс в развитии теории и практики электропривода, а с другой стороны, привело к большому разнообразию систем электропривода.

Хотя и возрастает количество комплектно поставляемых потребителю электроприводов, но и в настоящее время компоненты электропривода выпускаются главным образом отдельно и разрозненно и komponуются разработчиками производственных механизмов и технологических комплексов. Это является причиной низкого технического уровня оборудования. Организация комплексной разработки, комплектной поставки и высокой заводской готовности электроприводов, обладающих инвариантностью к изменениям в элементной базе и технологическом процессе, при высокой надёжности систем электропривода и хорошей организации сервиса является важнейшей задачей уже настоящего времени.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в теории и практике ЭП переменного тока, массовым промышленным регулируемым электроприводом (РЭП) продолжает оставаться электропривод постоянного тока. РЭП постоянного тока представляют собой сложную электромеханическую систему, обеспечивающую регулирование скорости в заданном диапазоне с требуемой точностью и быстродействием. В состав РЭП входят: электродвигатель, силовой полупроводниковый преобразователь, силовой трансформатор или коммутационные дроссели, автоматический выключатель или предохранители.

Современный уровень развития техники характеризуется стремлением автоматизировать и рационализировать во всех отраслях промышленности

возможно большее число производственных процессов, используя все новейшие технические достижения и организационные возможности.

Основным средством для приведения в движение рабочего органа машины, управления технологическим процессом, является электромеханическое устройство, называемое электроприводом.

Большой диапазон регулирования скорости, высокая точность позиционирования— вот чем характеризуется современный промышленный электропривод. К нему предъявляются высокие требования по надёжности и производительности.

Рост производительности всех металлургических агрегатов, а так же качества продукции, сильно зависит от совершенствования электропривода. Очень широкое использование в электроприводах металлургического производства уже нашли системы управления последовательной коррекцией, построенные по принципу подчинённого регулирования параметров. Благодаря ряду преимуществ, область применения этих систем всё время расширяется.

Задачей на сегодняшний день, является выпуск качественного проката без роста производства чугуна и сокращения расхода кокса, улучшение структуры металлоконструкций, обеспечение производства проката, расширение производства труб, освоение новых профилей проката, повышение производительности труда, ускорение технического перевооружения комбината, увеличение выплавки качественной стали и выпуск металлических порошков, строительство МНЛЗ (машины непрерывного литья заготовок).

В данное время ведение новых технологических условий позволяет значительно улучшить качество продукции всех цехов ОАО "ЗСМК", что значительно повышает конкурентоспособность ОАО "ЗСМК" как на внутреннем, так и на внешнем рынке сбыта продукции.

# 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

## 1.1 Технологический процесс цеха

Основным поставщиком сырья (металла) для Кузнечно- термического цеха (КТЦ) является Литейный цех (слитки), машина непрерывного литья заготовок и стан 1250 (блюмы). Из слитков на прессовом участке изготавливаются крупногабаритные изделия, а блюмы на заготовительном участке режутся на мелкие заготовки для молотового отделения.

Изделия молотового и прессового участков поступают в термическое отделение где проводится термическая обработка (отпускание, отжиг, и т.д.). После чего изделия отправляют заказчику.

Так же термический участок занимается термообработкой (закалка, отпускание, железнение, воронение и т.д.) деталей после обработки станками.

Качество термообработки в большей степени зависят от точности соблюдения нагрева и охлаждения обрабатываемой детали во времени.

Взаимодействия между подразделениями цеха показаны на рисунке 1.

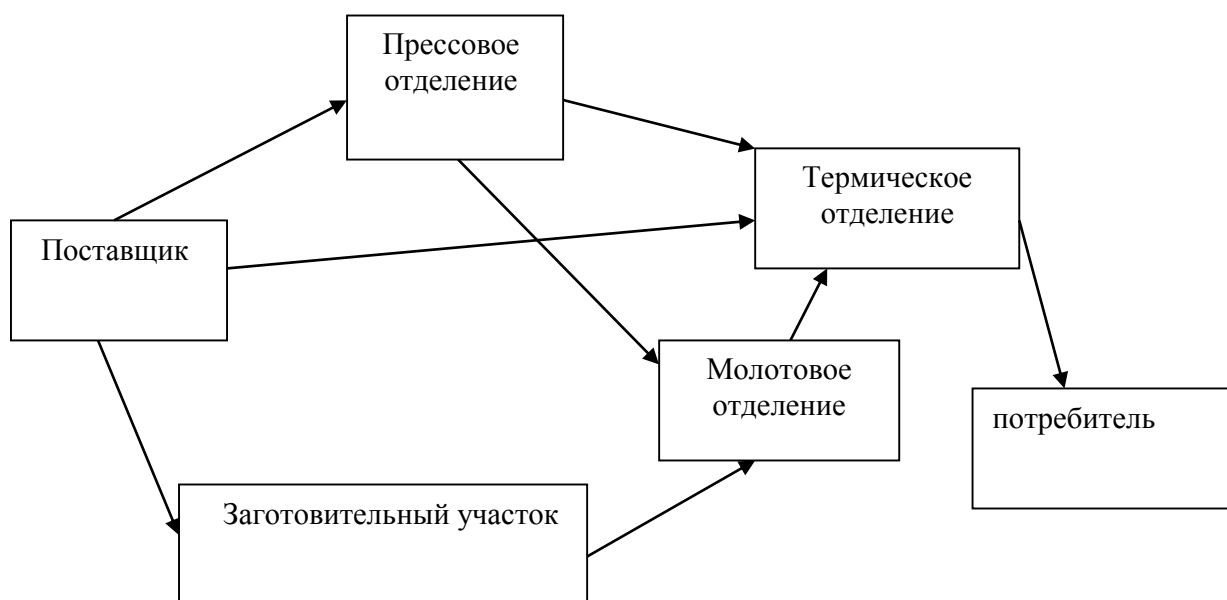


Рисунок 1

## **1.2 Технологический процесс вертикального закалочного станка.**

### **Кинематическая схема механизма перемещения индуктора**

Вертикальный закалочный станок для валов и шестерен предназначен для закалки крупно-габаритных деталей (Наибольшая длина 5м, диаметр 0,8м) нагревом, закаливаемой поверхности, токами высокой частоты с последующим охлаждением водой или другой жидкостью. На станке применена частота 2500 Гц. Наибольшая мощность, снимаемая с закалочного контура, 400 кВт.

Детали, подлежащие закалке, устанавливаются на станке вертикально. Это обеспечивает наиболее благоприятные условия охлаждения нагретой поверхности, вследствие чего достигается минимальная деформация детали и равномерная глубина и твердость закаливаемого слоя.

Работа на станке может производиться в полуавтоматическом цикле- «кнопочный режим» или в автоматическом- «автоматический режим»

Для установки детали и проведения работ, связанных с подбором режимов закалки в станке, предусмотрен «наладочный режим».

- a) Наладочный режим- предназначен для установки изделия, настройки станка и проведения экспериментальных работ по подбору закалочных режимов.

Управление станком производится от маховиков и рукояток вручную и механически с помощью кнопок управления, расположенных на главном и дублирующем пультах управления и кнопочных станциях.

- b) Кнопочный режим- предназначенный для закалки изделий от кнопок управления, расположенных на главном и дублирующем, пультах т.е. в полуавтоматическом цикле, где автоматизирован нагрев и охлаждение.
- c) 3) Автоматический режим- процесс закалки в этом режиме происходит автоматически от кнопки «цикл пуск», расположенный на главном пульте. Режим и цикл работы станка

устанавливается соответственно переключателями 1ПУ и 2ПУ, расположенными на главном пульте управления.

### **I. работа станка в наладочном режиме.**

Изделие транспортируется к станку краном с помощью одного или двух рым-болтов, закрепленных на торце изделия. Сначала изделие устанавливается на нижний центр, затем захватывается люнетом. После чего с площадки подъемника оператор снимает трос и рым-болты, подводит верхний центр на ось нижнего центра и закрепляет изделие, отпуская верхний центр вниз так, чтобы пиноль верхнего центра ушла в корпус на 10-15 мм. Остальной ход пиноли верхнего центра (30-35 мм) предусмотрен для компенсации термического удлинения изделия. Люнет отводят от изделия и поднимают его в верхнее крайнее положение, а затем сводят губки люнета к центру, чтобы обеспечить проход копирного устройства. Снятие изделия производится в обратном порядке.

Затем, согласно технологической карте подбирают емкость конденсаторных батарей, устанавливают время нагрева и охлаждения, паузу предварительного разогрева, ток возбуждения генератора, величину хода индуктора.

После наладки станка все механизмы отводят в исходные положения.

Исходное положение индуктора:

- a) При закалке цилиндрических косозубых и прямозубых шестерен и валов-шестерен, а также нижнего венца шевронных шестерен - индуктор устанавливается ниже венца обрабатываемой шестерни или вала-шестерни.
- b) При закалке верхнего венца шевронной шестерни – индуктор устанавливается выше венца обрабатываемой шестерни.
- c) При закалке валов непрерывно-последовательным способом – индуктор устанавливается ниже закаливаемой поверхности.
- d) При закалке шеек валов – индуктор устанавливается на уровне шейки закаливаемой детали.

Исходное положение зуба механизма поворота – выведен из впадины зуба шестерни.

Исходное положение копирных роликов – введены во впадину зуба шестерни.

## **II. Работа станка в автоматическом режиме.**

**Цикл 1.** *Закалка цилиндрических прямозубых, косозубых шестерен непрерывно-последовательным способом.*

После настройки станка и установки переключателя 2ПУ на главном пульте в положение 1, а переключателя 1ПУ в положение 3 включаем охлаждение и после нажатия кнопки «цикл пуск» начинается автоматическая работа станка в указанном цикле.

Работа механизмов происходит в следующем порядке:

- a) Начинается движение индуктора вверх с рабочей подачей.
- b) При входе индуктора во впадину зуба шестерни, движение индуктора прекращается и включается нагрев.
- c) Делается пауза в движении (время выдержки определяется настройкой реле времени) для предварительного разогрева зуба шестерни.
- d) Далее от реле времени дается команда на дальнейшее движение вверх каретки закалочного трансформатора с индуктором, с выбранной рабочей подачей.
- e) После выхода индуктора из впадины зуба от конечного выключателя дается команда на выключение нагрева.
- f) Движение индуктора вверх подается до тех пор пока следующий по ходу конечный выключатель не будет нажат кареткой закалочного трансформатора, при этом спрейер выйдет из впадины зуба.
- g) Происходит реверс двигателя подачи каретки закалочного трансформатора и индуктор ускорено опускается вниз до нижнего крайнего положения.

- h) В этом положении нижний конечный выключатель, нажатый упором каретки закалочного трансформатора дает команду на останов индуктора и поворот стола с изделием на 1 или 2 зуба (в зависимости от положения переключателя на пульте).
- i) После поворота изделия на 1 или 2 зуба конечный выключатель механизма поворота дает команду на повторение цикла.

По окончании закалки всех зубьев шестерен процесс закалки по команде реле счета импульсов, заканчивается.

**ЦИКЛ 2.***Закалка нижней части венца цилиндрических шевронных шестерен и валов-шестерен.*

После настройки станка и установки переключателя 2ПУ на главном пульте в положение 2, переключателя 1ПУ в положение 3 включаем охлаждение и затем нажатием кнопки «цикл пуск» включаем станок в работу в указанном цикле.

Работа механизма в цикле 2 происходит в том же порядке, что и в цикле 1, отличаются эти два цикла только тем, что во втором цикле остановка индуктора и выключение нагрева в верхнем крайнем положении происходит одновременно по команде одного и того же верхнего конечного выключателя в отличии от цикла 1, где отключается сначала нагрев, а затем движение каретки закалочного трансформатора.

Процесс закалки заканчивается также по команде реле счета импульсов.

**Цикл 3.***Закалка верхней части венца цилиндрических шевронных шестерен и валов-шестерен.*

После окончания закалки нижней части шеврона деталь со станка не снимают и закалку шестерни продолжают в следующем цикле – в цикле №3.

Для этого делают небольшую переналадку станка. Перестраивают зону рабочих ходов индуктора и изменяют расположение копирных роликов, т.к. угол наклона зуба обрабатываемой шестерни изменяется.

Механизм поворота оставляют в прежнем положении. Индуктор, копирные ролики и зуб механизма поворота ставят в исходное положение. После переналадки станка и установки переключателя 2ПУ в положение 3



включаем охлаждение и после нажатия кнопки «цикл пуск» начинается автоматическая работа станка.

Работа механизмов в цикле 3 происходит следующим образом:

- a) Каретка закалочного трансформатора с индуктором ускоренно перемещается вниз до нижнего конечного выключателя.
- b) Каретка останавливается включается нагрев, делается выдержка для разогрева изделия.
- c) Реле времени включает ход индуктора вверх с рабочей подачей.
- d) При выходе индуктора из впадины зуба нагрев от конечного выключателя отключается, движение вверх индуктора продолжается.
- e) При выходе спреера из впадины верхний конечный выключатель дает команду на останов индуктора и на поворот изделия на 1 или 2 зуба.
- f) После окончания поворота, конечный выключатель механизма поворота дает команду на повторение цикла.

По окончании закалки всех зубьев шестерни процесс закалки по команде реле счета импульсов, заканчивается.

**ЦИКЛ 4. Закалка гладких и шлицевых валов непрерывно-последовательным способом.**

Переключатель 1ПУ на главном пульте установлен в положение 3, а переключатель 2ПУ установлен в положение 4. Включаем охлаждение.

После нажатия кнопки «цикл пуск» начинается автоматическая работа станка.

Работа механизмов в цикле 4 происходит следующим образом:

- a) Каретка закалочного трансформатора с индуктором движется вверх с рабочей подачей, одновременно включается вращение изделия.
- b) В момент, когда индуктор пройдет на 2/3 своей ширины выше нижнего торца закаливаемого вала, упор каретки закалочного трансформатора нажмет на конечный выключатель, который дает

команду на останов индуктора и включение нагрева. Пауза в движении индуктора дается для первоначального нагрева и создания запасов тепла. Время пазы контролирует реле времени. По истечении времени, необходимого для предварительного нагрева, от реле времени привод каретки закалочного трансформатора получает команду на дальнейшее перемещение индуктора вверх с рабочей подачей.

- c) После подъема индуктора выше верхнего торца изделия от конечного выключателя нагрев выключается.
- d) Индуктор движется до момента, когда спрейер поднимается выше верхнего торца изделия и останавливается от конечного выключателя. Происходит реверс и индуктор ускоренно перемещается вниз до нижнего крайнего рабочего положения.

**ЦИКЛ 5.***Закалка шеек валов и других деталей одновременным способом.*

После настройки станка и установки переключателя 2ПУ на главном пульте в положение 5, а переключателя 1ПУ в положение 3 после нажатия кнопки «цикл пуск» начинается автоматическая работа станка в указанном цикле.

Работа механизмов происходит в следующем порядке:

- a) Включение вращательного движения закаливаемого изделия.
- b) Включение нагрева.
- c) Выдержка нагрева, которая контролируется реле времени.
- d) По истечению времени выдержки нагрева реле времени отключает нагрев и дает команду на подачу закалочной жидкости.
- e) Подача закалочной жидкости и вращение изделия прекращается по команде от реле времени.

На этом процесс закалки заканчивается.

### **III. Работа станка в кнопочном режиме.**

Все 5 циклов могут осуществляться в кнопочном режиме. Для чего после наладки станка переключатель 2ПУ ставится в положение, соответствующее одному из 5 выбранных циклов.

Процесс закалки в кнопочном режиме производится в той же последовательности, что и в описанных выше соответствующих 5 автоматических циклах. При этом все операции, кроме нагрева, осуществляются от кнопок.

Включение нагрева, пауза или выдержка и отключение нагрева происходит автоматически.

Кинематическая схема механизма перемещения индуктора приведена на рисунке 2 сведения о конструкции его основных узлов и их масса приведена в таблице 1.

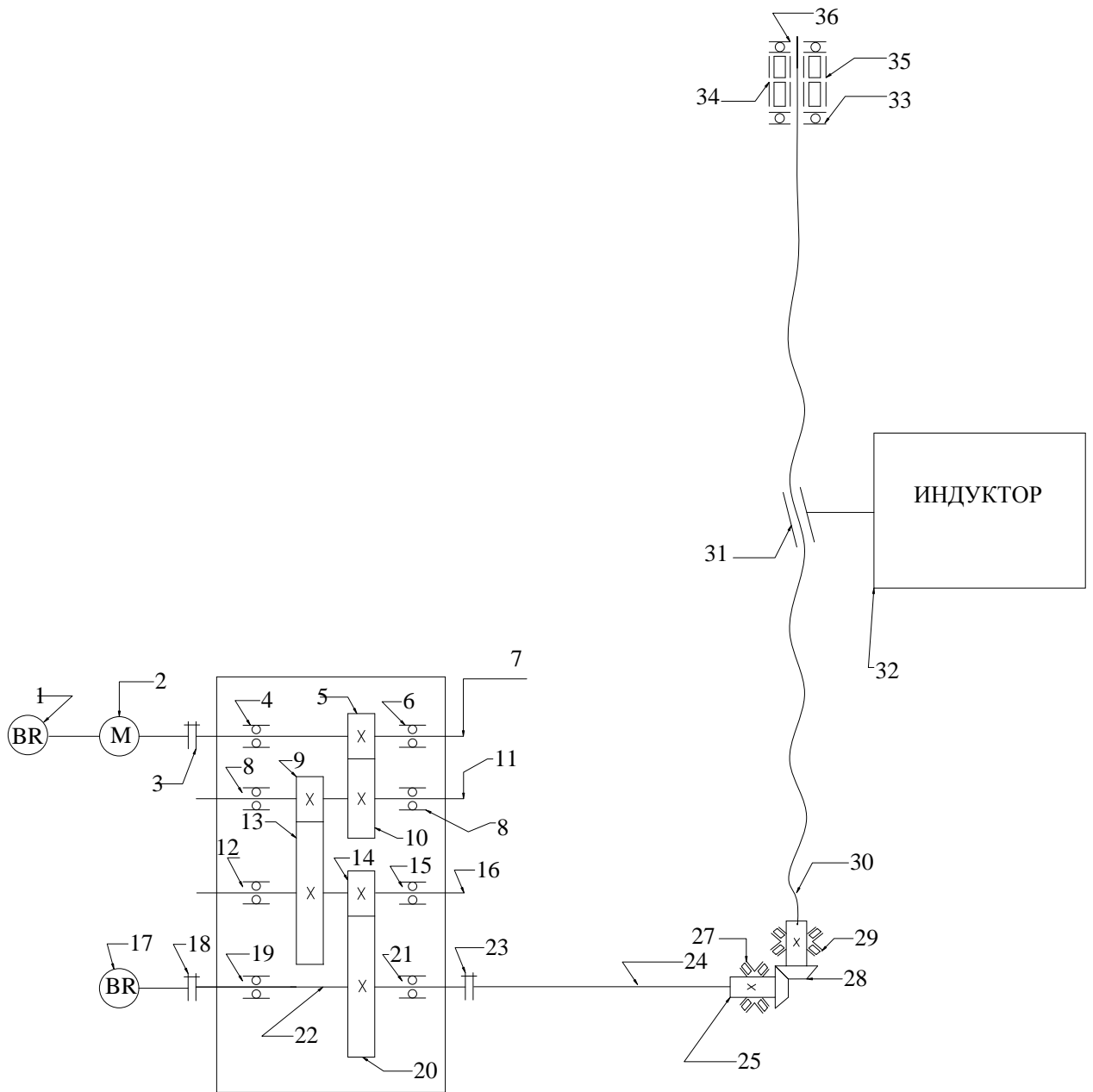


Рисунок 2 Кинематическая схема перемещения индуктора

На рисунке обозначено:

1,17– тахогенератор;

2- электродвигатель;

3,18,23 – муфты соединительные.

Таблица 1 - Технические характеристики элементов приведенных на кинематической схеме.

Наименования							
Подшипники							
№ подшипника по стандарту	Тип подшипника	Габариты в мм			Место установки	№ позиции по схеме	Кол
		d	D	b			
208	Шарикоподшипник радиальный однорядный	40	80	18	Вал № 7	4,6	2
209	Шарикоподшипник радиальный однорядный	45	85	19	Вал № 11	8,10	2
210	Шарикоподшипник радиальный однорядный	50	90	20	Вал № 16	12,15	2
212	Шарикоподшипник радиальный однорядный	60	110	22	Вал № 22	19,21	2
7215	Роликоподшипник конический	75	130	27,5	Вал № 24, винт	27,34	2
8213	Шарикоподшипник упорный	65	100	27	винт	29	1
8314	Шарикоподшипник упорный	70	125	40	винт	33,36	2
4074113К	Шарикоподшипник упорный	65	100	35	винт	35	1
Шестерни							
Наименование узла	№ вала по схеме	№ детали по схеме	Число зубьев	модуль	Угол винтовой линии	Материал	
Редуктор подъема каретки	7	5	24	2,5	12°	40X	
	11	10	60				
	16	13		3			
	11	9	24				
	16	14	18	4			
	22	20	48				
Валы							
№ вала по схеме	диаметр	длинна	Вес, кг	материал			
7	40	560	5,4	40X			
11	45		6,95				
16	50		8,58				
22	60		12,35				
24	70	1100	33				
30	70	5680	170,5				

### **1.3 Обоснование и выбор системы электропривода.**

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

#### **1.3.1 Сравнительный анализ приводов постоянного и переменного тока**

Дадим сравнительный анализ приводов постоянного и переменного тока.

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

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

Сравнивая динамические характеристики приводов с двигателями постоянного тока (ДПТ), асинхронными двигателями (АД) и бесколлекторными двигателями (БКД), можно отметить преимущества приводов с АД и БКД. Так, если полоса пропускания лучших образцов тиристорных приводов с

высокомоментными двигателями постоянного тока (ВМД) составляет 40-45 Гц, то полоса пропускания транзисторных приводов с ВМД и БКД составляет 100-200 Гц. Последнее объясняется применением транзисторов, работающих в режиме широтно-импульсного регулирования (ШИР) на высокой несущей частоте (1-3 кГц).

Собственно АД не имеет ограничений по пусковым токам из-за отсутствия коллекторного узла. В тиристорных приводах постоянного тока динамические токи как правило ограничиваются конструкцией двигателя. Поэтому время пуска приводов на максимальную скорость примерно равны, хотя момент инерции ДПТ больше, чем АД.

Важно отметить, что один из производителей приводов постоянного тока находится в Кемеровской области, а отечественных производителей приводов переменного тока нет.

Таким образом, мы пришли к выводу, что в качестве электропривода передвижения индуктора целесообразно применить электропривод постоянного тока.

### **1.3.2 Обоснование и выбор способа регулирования координат**

Немаловажным аспектом в процессе проектирования является выбор системы регулирования координат. Для питания электропривода постоянного тока обычно используют следующие системы преобразовательных устройств:

- a) система генератор-двигатель (Г-Д);
- b) электромагнитный усилитель – двигатель (ЭМУ-Д);
- c) транзисторный преобразователь – двигатель (ТрП-Д);
- d) система тиристорный преобразователь-двигатель (ТП-Д).

Рассмотрим достоинства и недостатки каждой из систем.

С давних пор и до настоящего времени для возбуждения генераторов в системе Г-Д использовались силовые реверсивные электромагнитные усилители (ЭМУ) – устройства простые, надежные, но несовершенные. Низкий КПД (около 35%), большие габариты, низкое быстродействие, невысокий коэффициент

усиления и самым большим недостатком является то, что электроремонтный цех ОАО «ЗСМК» не берет ЭМУ на ремонт. В последние годы они заменяются на реверсивные тиристорные преобразователи (ТВГ) и обмотку возбуждения синхронного двигателя, которая раньше подключалась к нерегулируемому источнику, обеспечили для целей автоматического регулирования нереверсивным тиристорным возбудителем (ТВС). Применение микроэлектроники в системе управления обеспечивает быстроедействие и точность системы Г-Д на уровне, не уступающем системе ТП-Д. К достоинствам системы Г-Д по сравнению с системой ТП-Д относится отсутствие искажений потребляемого из сети тока и относительно небольшое потребление реактивной мощности даже при асинхронном приводном двигателе. У тиристорного преобразователя эти показатели несколько хуже, так как  $\cos\phi$  изменяется в широких пределах, значительно искажается форма потребляемого из сети тока. Для коэффициента мощности применяют регулируемые фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ). Однако, введение этих устройств ухудшает в 1,5-2 раза массогабаритные показатели системы ТП-Д и увеличивает ее стоимость. Важным достоинством системы ТП-Д является ее высокий КПД. Потери энергии в тиристорах при протекании номинального тока составляют 1-2 % номинальной мощности электропривода. Поэтому даже с учетом потерь в реакторе и трансформаторе КПД преобразователя достаточно высок.

Оценивая экономичность систем, можно сказать, что массогабаритные и энергетические показатели системы Г-Д определяются необходимостью присущего этой системе трехкратного электромеханического преобразования энергии в трех входящих в эту систему электрических машин: Д,Г и Д. Как следствие, установленная мощность машин привода возрастает втрое, и благоприятные регулировочные возможности достигаются ценой существенных дополнительных затрат меди, высококачественной стали и труда. Установка вращательного преобразовательного агрегата требует сооружение специального фундамента, центровки агрегата, тщательной настройки коммутации тока коллектором генератора и т.д. В эксплуатации вращающийся преобразовательный агрегат, особенно его подшипники и коллектор генератора



требуют большего внимания и ухода, что увеличивает эксплуатационные расходы.

Таким образом, мы приходим к выводу, что в сравнительном варианте использования реверсивного преобразователя преимущества статического перед вращающимся говорят в пользу ТП-Д.

Система ТрП-Д позволяет реализовать полностью управляемый привод, имеет высокий КПД ( $\approx 0,96\%$ ). Характерной особенностью транзисторных приводов заключается в том, что кратность динамических токов лимитируется преобразователем а не двигателем. По энергетическим характеристикам тиристорный привод постоянного тока существенно уступает транзисторным приводам всех типов, так как значения  $\cos\phi$  падают в зависимости от диапазона регулирования от 0,8 до 0,1. Кроме того, звено постоянного тока в многокоординатных транзисторных приводах работает как перераспределитель энергии за счет разной циклограммы работы отдельных приводов (энергия, запасаемая единым источником питания в звене постоянного тока при торможении одного из приводов, «перекачивается» в другой привод, питающийся от этого же источника и работающего в пусковом режиме). По массогабаритным показателям транзисторные преобразователи уступают тиристорным преобразователям. Тиристорный преобразователь не имеет ограничений по мощности, в то время как мощность транзисторных преобразователей ограничена параметрами транзисторов.

Сравнивая преобразователи приводов по сложности, выберем в качестве критерия сравнения количество силовых элементов (тириستоров, транзисторов, диодов, высоковольтных конденсаторов) и количество корпусов интегральных микросхем.

Транзисторный преобразователь сложнее тиристорного в 4 раза по силовым элементам и в 5 раз по управляющим.

На основании приведенного сравнительного анализа выбираем систему ТП-Д, как наиболее удовлетворяющую требованиям технологического процесса.

### 1.3.3 Требования к электроприводу

1 Электропривод питается от трехфазной промышленной сети переменного тока с линейными напряжениями: 220, 380, 440, 500 В частотой 50(60) Гц (допускаются напряжения питающей сети 230, 400, 415 В в соответствии с ГОСТ 21128-75). Сеть должна обеспечивать возможность заземления электрооборудования.

2 Электроприводы должны обеспечивать работу при:

2.1 отклонениях напряжения питающей сети от номинального от +10 до -15 %;

2.2 отклонениях частоты питающей сети на  $\pm 2\%$  от номинального

2.3 соотношении допустимых мощностей питающей сети и электропривода, а также допустимые искажения формы напряжения сети установленных в стандартах или технических условиях на конкретные типы электроприводов.

3 Требования по устойчивости к внешним воздействиям

3.1 Электроприводы должны быть предназначены для работы в следующих условиях:

3.1.1 на высоте над уровнем моря не более 1000м;

3.1.2 при температуре окружающего воздуха:

3.1.3 для электродвигателя и тахогенератора от 5 до 40°C;

3.1.4 для тиристорных преобразователя и их принадлежностей от 5 до 40°C;

3.1.5 от 45 до 55° С с соответствующим уменьшением допустимого длительного тока;

3.1.6 при максимальной относительной влажности воздуха 80% при температуре 30° С; 3.1.7 в невзрывоопасной окружающей среде, не содержащей агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающие металлы и изоляцию;

3.1.8 в закрытых стационарных помещениях при отсутствии непосредственного воздействия солнечной радиации.

3.2 Составные части электропривода, устанавливаемые в отдельно стоящие шкафы, должны допускать вибрацию с частотой от 1 до 35 Гц при ускорениях не более  $4,9 \text{ м/с}^2$ .

#### 4 Требования к основным техническим параметрам электропривода

4.1 Сигнал управления – аналоговый  $\pm 10 \text{ В}$ , соответствующий максимальной скорости.

4.2 Электропривод должен обеспечивать возможность управления по одному или более входам с сопротивлением не менее  $2 \text{ кОм}$ .

4.3 Длительный момент электроприводов  $M_{до}$  при скорости, равной нулю, должен быть не менее величин следующего ряда:

0,35;0,47;0,7;1,0;1,3;1,7;2,3;3,5;4,7;7,0;10;13;17;23;35;47;70;100;130;170Нм.

4.4 электроприводы должны обеспечивать величину момента, равную  $M_{доВ}$  режиме S1 по ГОСТ 183-74 в диапазоне частоты вращения от 0 до  $0,25 n_{max}$ .

4.5 Полоса пропускания замкнутого контура регулирования скорости при дополнительном моменте инерции и амплитуде управляющего напряжения  $0,1 \text{ В}$  должна быть не менее  $20 \text{ Гц}$ .

4.6 Электропривод должен иметь датчик скорости с крутизной характеристики не менее  $0,02 \text{ В} \cdot \text{об/мин}$  с высокой линейностью и симметричностью характеристики.

4.7 Время переходного процесса не более  $0,2 \text{ с}$ .

4.8 Перерегулирование при скачкообразной подачи на вход управляющего напряжения должно быть не более  $20\%$  при скорости вращения  $0,5 n_{max}$ .

4.9 Значение диапазона регулирования скорости электропривода  $D = n_{max}/n_{min}$  в зависимости от класса электропривода должна быть не менее:

- 10000 – для класса электропривода 1;

- 1000 - для класса электропривода 2.

#### 5 Требования к системе защиты

5.1 Электроприводы должны быть снабжены аппаратурой защиты, сигнализации и индикации рабочих и аварийных режимов.

5.2 Электроприводы должны быть термически и динамически устойчивы при всех аварийных режимах в течении времени срабатывания установленных в них защитных аппаратов.

5.3 Электроприводы должны иметь следующие виды защиты:

5.3.1 от коротких замыканий;

5.3.2 от токовых перегрузок;

5.3.3 от перенапряжения;

5.3.4 от исчезновения вентиляции;

5.3.5 от исчезновения напряжения сети;

5.3.6 от неправильного чередования фаз.

6 Требования к конструкции

6.1 Силовой трансформатор, токоограничивающий реактор, сглаживающие, уравнивательные и коммутационные дроссели, силовой преобразователь должны быть выполнены в виде самостоятельных конструктивных элементов, предназначенных для размещения в шкафах одностороннего или двухстороннего обслуживания, выполненных в соответствии с СТ СЭВ 1660-79, СТ СЭВ 1661-79.

6.2 Степень защиты электродвигателей с естественной вентиляцией по ГОСТ 14254-80 должна быть IP44. электродвигатели с принудительным охлаждением должна иметь степень защиты IP22 и фильтр очистки охлаждающего воздуха.

6.3 Степень защиты силовых преобразователей, трансформаторов, реакторов и дросселей должна быть IP00.

6.4 Формы исполнения двигателей IM3001, IM3011, IM3031 по ГОСТ 2479-79.

6.5 Уровень вибрации электродвигателей должен соответствовать классу вибрации:

6.5.1 0,7 или 1,8 по ГОСТ 16921-71 для высот оси вращения до 132 мм;

6.5.2 1,1 или 2,8 для высот оси вращения более 132 мм.

6.5.3 уровень вибрации оценивается при  $n=0,5n_{\max}$ .

6.6 Конструкция компонентов электроприводов должна предусматривать размещение их в шкафах в соответствии с СТ СЭВ 1660-79, СТ СЭВ 1661-79.

6.7 Силовой преобразователь, трансформатор и дроссели должны иметь элемент заземления по ГОСТ 21130-75.

6.8 Требования к технике безопасности электроприводов по ГОСТ 12.2.009-80.

## **1.4. Выбор элементов и расчет параметров силового канала РЭП.**

### **1.4.1 Расчет мощности и выбор электродвигателя**

Потребность совершенствования технических характеристик регулируемых и следящих электроприводов привели к разработке специальных двигателей постоянного тока. Общими особенностями двигателей для станочных электроприводов является возможность длительной работы на малых скоростях при полном моменте, что требует специальных мер для их охлаждения, а так же возможность многократной перегрузки по току в течении не большого времени, что связано с необходимостью достижения высокого быстродействия привода.

В условиях эксплуатации станки работают в разнообразных режимах с различной нагрузкой и в общем случае мощность их приводов следует определять методами средних потерь или эквивалентных величин, используемые при выборе мощности двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме. Основой для расчета служат циклограммы работы приводов. Однако они могут быть построены лишь в ограниченных случаях, где обрабатываются определенного вида детали в условиях массового производства. В станках с большой номенклатурой деталей и режимов обработки, построить циклограмму не представляется возможным. Поэтому для определения мощности двигателя перемещения индуктора предполагается, что он работает длительно.

Исходными данными для выбора мощности электродвигателя привода перемещения индуктора является режим перемещения, кинематика

станкаприведенная на рисунке 2 сведения о конструкции его основных узлов приведенная в таблице 1 и их масса.

Выбор двигателя производится по следующим двум условиям:

$$n_{дв.ном} \geq n_{дв.быстр.перем} \text{ (условие 1)}$$

$$M_{дв.ном} > M_{тр} + M_{под} \geq 1,87 + 15,2 \geq 17,07 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \quad \text{(условие.2)}$$

Максимальные быстрые перемещения и минимальная рабочая скорости двигателя:

$$\omega_{дв.ном} = \frac{n_{макс} \cdot \pi \cdot i_{ред}}{30} = \frac{180 \cdot 3,14 \cdot 16,6875}{30} = 314,55 \text{ рад/сек},$$

где  $\omega_{дв.ном}$  - номинальная угловая скорость двигателя.

$n_{макс}$ - максимальная скорость быстрых перемещений индуктора,

$$n_{макс} = 180 \text{ об/мин};$$

$i_{ред}$  – передаточное число редуктора.

$$i_{ред} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = 2,5 \cdot 2,5 \cdot 2,67 = 16,6875$$

где  $i_1$ - передаточное число косозубой передачи,  $i_1=2,5$ ;

$i_2$  – передаточное число первой прямозубой передачи,  $i_2=2,5$ ;

$i_3$  – передаточное число второй прямозубой передачи,  $i_3=2,67$ .

$$\omega_{раб.мин.дв} = \frac{n_{раб.мин} \cdot \pi \cdot i_{ред}}{30} = \frac{0,6 \cdot 3,14 \cdot 16,6875}{30} = 1,0485 \text{ рад/сек},$$

Диапазон регулирования электропривода:

$$D\omega = \frac{\omega_{макс.дв}}{\omega_{раб.мин.дв}} = \frac{314,55}{1,0485} = 300,$$

Момент трения перемещения индуктора:

$$M_{тр} = \frac{m \cdot g \cdot k_{тр} \cdot t_b}{2\pi \cdot \eta_{пер}} \cdot 10^{-3} = \frac{3000 \cdot 9,81 \cdot 0,05 \cdot 10}{2\pi \cdot 0,94} \cdot 10^{-3} = 1,87 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

где  $m$ - масса поднимаемого груза, кг;

$g=9,80665 \text{ м/с}^2$ ; – ускорение свободного падения;

$k_{тр}$  – коэффициент трения в направляющих скольжения,  $k_{тр}=0,04 \div 0,1$ ;

$\eta_{пер}$ - КПД перемещения механизма,  $\eta_{пер}=0,94$ ;

$t_b = 10 \text{ мм}$ ; – шаг резьбы винта на оборот.

Масса перемещаемого груза:

$$m = m_1 + m_2 + m_3 = 1150 + 250 + 300 = 3000 \text{ Кг},$$

где  $m_1=1150$  кг; - вес каретки закалочного трансформатора;

$m_2=250$  кг; –вес закалочного трансформатора;

$m_3=300$  кг;- вес салазок трансформатора.

Момент подачи индуктора:

$$M_{\text{под}} = \frac{F_{\text{п}} \cdot R}{2\pi \cdot \eta_{\text{пер}}} = \frac{1910,386 \cdot 0,035}{2\pi \cdot 0,7} = 15,2 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

где  $F_{\text{п}}$ - максимальная осевая сила , Н;

$R=0,035$  м;- радиус винта.

$$F_{\text{п}}=F_a/(i*\eta)= 29419,95/(22*0,7)= 1910,386 \text{ Н} ,$$

где  $F_a$ - сила тяжести перемещаемых масс, Н;

$i$  – передаточное число винт-гайки;

$\eta$ - КПД винт-гайки,  $\eta=0,875$ .

$$i=\pi*d_v/t_b=3.14*70/10=22 ,$$

где  $d_v$ – диаметр винта,  $d_v=70$  мм;

$$F_a=m*g=3000*9.80665= 29419,95 \text{ Н} .$$

Перечисленным критериям выбора удовлетворяет двигатель серии

2ПБ. Параметры двигателей приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Параметры выбранного двигателя

Наименование, размерность	Обозначения физических величин	Численное значение
Тип электродвигателя	-	2ПБ160МУХЛ4
Мощность, кВт	$R_{\text{дн}}$	7,1
Напряжение якоря, В	$U_{\text{ндв}}$	220
Номинальная частота вращения, об/мин	$n_{\text{ндв}}$	3000
КПД	$\eta$	85,5
Сопротивление якоря +15°С. Ом	$R_{\text{я}(+15)}$	0,081
Сопротивление дополнительных полюсов, +15°С. Ом	$R_{\text{дп}(+15)}$	0,056
Индуктивность якорной цепи, мГн	$L_{\text{я}}$	2,6
Момент инерции, кг•м <sup>2</sup>	$J_{\text{д}}$	0,083

Для электродвигателей серии 2ПБ применяют тахогенератор типа ТС1 параметры которого приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Параметры тахогенератора

Наименование, размерность	Обозначения физических величин	Численное значение
Тахогенератор	-	ТС1
Напряжение, В	U <sub>ТГ</sub>	33
Частота вращения, об/мин	n <sub>ТГ</sub>	1000
Коэффициент передачи, В•с/рад	K <sub>ТГ</sub>	0,315

#### 1.4.2 Расчет параметров механической системы

Механическая часть проектируемого электропривода, представляет собой сложную электромеханическую систему, состоящую из инерционных тел (якоря электродвигателя, соединительной муфты, редуктора и т.д.), которые связаны между собой в общем случае упругими элементами. При анализе механической части привода, реальный механизм обычно заменяется динамически эквивалентной приведенной расчетной схемой замещения, состоящей из сосредоточенных инерционных элементов, которые соединены между собой упругими связями и обладающей таким же энергетическим запасом, как и исходный механизм.

Звенья кинематической цепи привода обладают конечной жесткостью и поэтому при передачи вращающего момента все элементы цепи подвергаются деформациям. Одними деформациями, вследствие их малости, пренебрегают, другие, имеющие значительные величины, приводятся к эквивалентным.

В упругих элементах возникает момент, обусловленный внутренним вязким трением, вследствие деформации упругого элемента. Моменты сопротивления определяются силами трения (вязкое, сухое, смешанное), силами тяжести элементов кинематической цепи, полезными моментами и силами, которые могут зависеть от времени, скорости вращения, угла поворота.

Пренебрегая массами соединительных муфт, кинематическую схему представим в виде двух движущихся масс: массы якоря двигателя, вращающийся



с угловой скоростью  $\omega_1$ ; массы винта с гайкой, вращающийся с угловой скоростью  $\omega_2$ .

В результате приведения моментов сопротивления, моментов инерции, жесткостей к выбранной скорости, будет получена расчетная схема двухмассовой кинематической цепи привода индуктора.

Двухмассовая расчетная схема приведена на рисунке 2

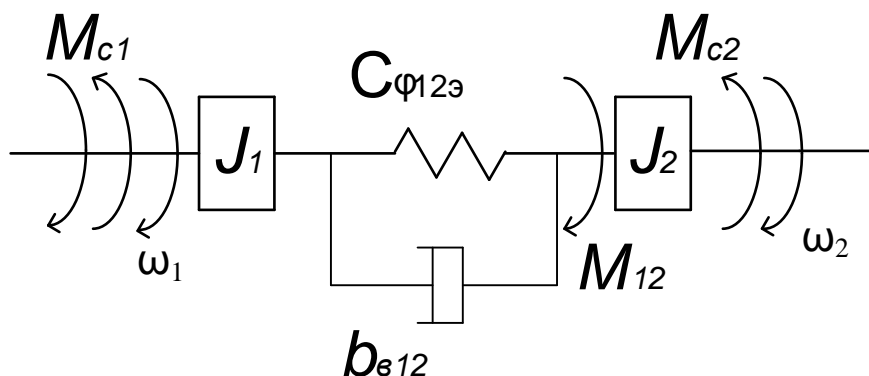


Рисунок 2. Расчетная схема двухмассовой механической системы привода

Принятые на рисунке 2 обозначения:

$J_1$  – момент инерции первой массы;

$J_2$  – момент инерции второй массы;

$C_{12}$  – эквивалентная угловая жесткость механизма, приведенная к угловой скорости вала двигателя;

$B_{12}$  – коэффициент внутреннего вязкого трения;

$\omega_1, \omega_2$  – соответственно угловая скорость первой и второй массы;

$M$  – движущий момент;

$M_{12}$  – упругий момент;

$M_{c1}$  – момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы;

$M_{тр}$  – момент от силы трения винта;

$M_{пер}$  – момент от силы тяжести.

Представленная ДМС имеет три входа: крутящий момент  $M$  на валу первой массы, возмущающий момент сопротивления на валу первой массы  $M_{c1}$  и на валу второй массы  $M_{c2}$  и два выхода:  $\omega_1$  – скорость вращения первой массы и  $\omega_2$  – скорость вращения второй массы.

В приведенной расчетной схеме все инерционные элементы имеют одно движение – вращательное, т.е. приведение производится к валу электродвигателя. Такая расчетная схема называется приведенной схемой вращательной системы. В этой системе нагрузки характеризуются крутящим моментом  $M$ , момент инерции  $J$ , коэффициент угловой жесткости  $C_{12}$ .

Приведенный момент инерции первой массы:

$$J_1' = J_{дв} + J_7 + J_5 + \frac{J_{11}}{i_1^2} + \frac{J_9}{i_1^2} + \frac{J_{10}}{i_1^2} + \frac{J_{13}}{i_2^2} + \frac{J_{14}}{i_2^2} + \frac{J_{16}}{i_2^2} + \frac{J_{20}}{i_3^2} + \frac{J_{22}}{i_3^2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

где  $J_7, J_{11}, J_{16}, J_{22}$  – моменты инерции валов редуктора в соответствии с кинематической схемой,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$J_5, J_9, J_{10}, J_{13}, J_{14}, J_{20}$ , – моменты инерции шестерен редуктора в соответствии с кинематической схемой,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$i_1, i_2, i_3$  – передаточные числа редуктора на ступенях соответственно.

Моменты инерции для винта и валов:

$$J_в = m \cdot \frac{D^2}{8}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

где  $m$  – масса изделия,  $\text{кг}$ ;

$D$  – диаметр изделия,  $\text{м}$ .

Соответственно моменты инерции для валов:

$$J_{22} = 12,35 \frac{0,06^2}{8} = 0,0056, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{16} = 8,58 \frac{0,05^2}{8} = 0,0027, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{11} = 6,95 \frac{0,045^2}{8} = 0,0018, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_7 = 5,4 \frac{0,04^2}{8} = 0,001, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Моменты инерции для шестерен:

$$J_w = m \frac{R^2 + r^2}{2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Соответственно кинематической схеме моменты инерции для шестерен:

$$J_5 = 1,2 \cdot \frac{0,03^2 + 0,02^2}{2} = 0,00078, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_9 = 3,1 \cdot \frac{0,075^2 + 0,025^2}{2} = 0,00969, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{10} = 5,3 \cdot \frac{0,09^2 + 0,03^2}{2} = 0,02385, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$$

$$J_{13} = 0,6 \cdot \frac{0,036^2 + 0,02^2}{2} = 0,0005, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$$

$$J_{14} = 0,7 \cdot \frac{0,036^2 + 0,0225^2}{2} = 0,00063, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$$

$$J_{20} = 2,7 \cdot \frac{0,096^2 + 0,0325^2}{2} = 0,01387, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$$

$$J_1^1 = 0,083 + 0,001 + 0,00078 + \frac{0,0018}{2,5^2} + \frac{0,0005}{2,5^2} + \frac{0,00969}{2,5^2} + \frac{0,0027}{6,25^2} + \frac{0,02385}{6,25^2} + \frac{0,00063}{6,25^2} + \frac{0,0056}{16,6875^2} + \frac{0,01387}{16,6875^2} = 0,0875, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$$

Приведенный момент инерции второй массы:

$$J_2^1 = \frac{J_{\text{ВИНТ}}}{i_{\text{РЕД}}^2} + \frac{m \cdot p^2}{i_{\text{РЕД}}^2} = \frac{0,1044}{16,6875^2} + \frac{3000 \cdot 0,00159155^2}{16,6875^2} = 0,0004022, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$$

где  $J_{\text{ВИНТ}}$  – моменты инерции винта,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$p$  – радиус приведения узла винт-гайка, м/рад.

Момент инерции винта:

$$J_{\text{ВИН}} = 170,5 \cdot \frac{0,07^2}{8} = 0,1044, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$$

$$p = \frac{t_B}{2\pi} = \frac{0,01}{2\pi} = 0,00159155, \frac{\text{м}}{\text{рад}}$$

Реальные звенья кинематической цепи и элементы конструкции привода обладают конечной жесткостью и поэтому при подаче вращающих моментов подвергаются деформациям. Для элементов привода эти деформации являются упругими, т.е. подчинены закону Гука.

Все элементы механической системы привода испытывают в той или иной степени упругие деформации. Прежде всего, это линейные, угловые и изгибные деформации. Деформация элементов привода при передаче движущих моментов и сил приводит к дополнительной ошибке воспроизведения приводом заданной траектории движения и возникновению колебательных процессов в механической системе, что может быть причиной возникновения автоколебаний в электроприводе в целом. Строго говоря, оценка степени влияния упругих деформаций элементов привода с целью принятия обоснованного решения об учете или не учете их при расчете и настройке электропривода механизма, является обязательной.

В связи с тем, что крутильная деформация винта на порядок больше сумме деформаций остальных элементов кинематической схемы, будем учитывать только деформации винта.

При кручении стержня вращающим моментом приложенным в плоскости, перпендикулярной оси стержня, угловую жесткость вала в соответствии с законом Гука определяется выражением:

$$C_{\varphi} = \frac{G \cdot J_P}{0.9 \cdot l} = \frac{8.1 \cdot 10^{10} \cdot 2.357 \cdot 10^{-6}}{0.9 \cdot 5.68} = 37347 \frac{H \cdot m}{рад},$$

где  $l$  – длина стержня, м;

$G$  – модуль сдвига, для стали равный  $G=8,1 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;

$J_P$  – полярный момент инерции сечения вала, м<sup>4</sup>.

$$J_P = \frac{\pi \cdot D^4}{32} = \frac{\pi \cdot 0,07^4}{32} = 2,357 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Угловая жесткость винта приведенная к валу двигателя:

$$C_{\varphi}^1 = \frac{C_{\varphi}}{i_{RED}^2} = \frac{37347}{16,6875^2} = 135 \frac{H \cdot m}{рад}.$$

Осевая податливость винта закрепленного с двух концов максимальна при среднем положении гайки:

$$\delta_l = \frac{0.5 \cdot l}{S \cdot E} = \frac{0.5 \cdot 0.9 \cdot 5,68}{0,00385 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 3.32 \cdot 10^{-9} \frac{м}{Н},$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения стержня, м<sup>2</sup>;

$l$  – длина стержня, м;

$E$  – модуль продольной упругости, для стали равный  $E=2,1 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>.

Она же приведенная к угловому перемещению:

$$\delta_{\varphi} = \frac{\delta_l}{p^2} = \frac{3,32 \cdot 10^{-9}}{0,00159155^2} = 0,001184 \frac{Н}{м}.$$

Угловая жесткость винта:

$$C_{\varphi\varphi} = \frac{1}{\delta_{\varphi}} = \frac{1}{0,001184} = 845 \frac{H \cdot m}{рад}.$$

Она же приведенная к валу двигателя:

$$C_{\varphi\varphi}^1 = \frac{C_{\varphi\varphi}}{i_{RED}^2} = \frac{845}{16,6875^2} = 3.038 \frac{H \cdot m}{рад}.$$

Результирующая жесткость приведенная к валу двигателя:

$$C_{12} = \frac{1}{\left( \frac{1}{C_{\varphi}^1} + \frac{1}{C_{\varphi\varphi}^1} \right)} = \frac{1}{\left( \frac{1}{135} + \frac{1}{3.038} \right)} = 2.98 \frac{H \cdot m}{рад}.$$

Коэффициент внутреннего вязкого трения:

$$b_{12} = \frac{0.2 \cdot C_{12}}{\pi \cdot \omega_{12}} = \frac{0.2 \cdot 2.98}{\pi \cdot 86,27} = 0,0022$$

где  $\omega_{12}$ -резонансная частота колебаний полученной двухмассовой упругой системы, рад/с.

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{J_1 + J_2}{J_1 \cdot J_2} \cdot c_{\phi 12}} = \sqrt{\frac{0.0875 + 0.0004022}{0.0875 \cdot 0.0004022} \cdot 2,98} = 86,27 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Крутящий момент примем равным номинальному моменту двигателя:

$$M = M_H = \frac{P_{ДВН}}{\omega_{ДВН}} = \frac{7100}{314,16} = 22,6, \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

Момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы:

$$M_{C1} = (C \cdot I_H - M_H) + \left( \frac{1 - \eta_{ред}}{2 \cdot \eta_{ред}} \cdot M_H \right) = (0,6799 \cdot 37,73 - 22,6) + \left( \frac{1 - 0,8}{2 \cdot 0,8} \cdot 22,6 \right) = 5,891 \text{ Н}.$$

Момент от силы трения винта:

$$M_{TP} = \frac{1 - \eta_B}{2 \cdot \eta_B} \cdot M_H = \frac{1 - 0,875}{2 \cdot 0,875} \cdot 22,6 = 1,62$$

Момент от силы тяжести поднимаемого груза:

$$M_{ГР} = m \cdot g \cdot \frac{t_B}{2 \cdot \pi \cdot i_{ред}} = 3000 \cdot 9,81 \frac{0,001}{2 \cdot \pi \cdot 16,68} = 2,77 \text{ Н}$$

Резонансная частота колебаний полученной двухмассовой упругой системы:

$$f_{П2} = \frac{\omega_{12}}{2 \cdot \pi} = \frac{86,27}{2 \cdot \pi} = 13,73 \text{ Гц.}$$

Полученное значение резонансной частоты двухмассовой системы приблизительно равна полосе пропускания контура скорости, что позволяет в первом приближении считать механическую систему привода подачи одномассовой с эквивалентным моментом инерции

$$J_{\text{э}} = J_1 + J_2 = 0.0875 + 0.0004022 = 0.0879022, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$$

Эквивалентный момент сопротивления типа сухого трения:

$$M_c = M_{c1} + M_{c2} = 5,891 + 1,62 = 7,511 \text{ Н}$$

Структурная схема одномассовой механической системы приведена на рисунке 3 .

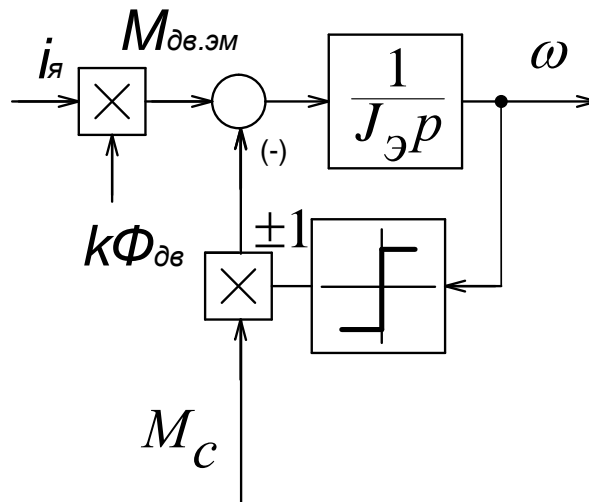


Рисунок 3 . Структурная схема одномассовой механической системы.

На рисунке обозначены:

$M$  – момент развиваемый двигателем;

$M_c$  – сумма моментов трения и подачи;

$J$  – эквивалентный момент инерции;

$\omega$  – угловая скорость.

Расчетные данные механической системы сведены в таблице 4.

Таблица 4 - Технические данные ТП.

Наименование, размерность	Обозначения физических величин	Численное значение
Приведенный момент инерции первой массы, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$J_1$	0,0875
Приведенный момент инерции второй массы, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$J_2$	0,0004022
Результирующая жесткость	$C_{12}$	2,98
Коэффициент внутреннего вязкого трения	$B_{12}$	0,0022
Момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы, Н	$M_{c1}$	5,891
Момент сопротивления типа сухого трения на валу второй массы, Н	$M_{c2}$	1,62
Момент от силы тяжести поднимаемого груза, Н	$M_{ГР}$	2,77
Эквивалентный момент инерции, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$J_э$	0,0879022

Эквивалентный момент сопротивления типа сухого трения, Н	$M_{сэ}$	7,511
--	----------	-------

### 1.4.2 Выбор комплектного электропривода

Для правильного выбора ТП для питания электродвигателя должны выполняться следующие условия:

- a) Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя якорной цепи должно быть равно номинальному напряжению двигателя

$$U_{дн} = U_{дв.н} = 220 \text{ В.}$$

- b) Номинальный ток преобразователя должен быть равен или больше номинального тока двигателя

$$I_{дн} \geq I_{двн}$$

- c) Ток допустимой перегрузки преобразователя должен быть равен или больше тока допустимой перегрузки двигателя

$$I_{дмакс} \geq I_{двмакс}$$

При условии, что продолжительность перегрузки преобразователя равна или больше продолжительности перегрузки двигателя.

На основании данных условий выбираем ТП типа ЭПУ1-2..П данные которого приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Технические данные ТП.

Наименование, размерность	Обозначения физических величин	Численное значение
Тип ТП	-	ЭПУ-1-2-3727ПУХЛ4
Исполнение по реверсу	-	Реверсивный
Ток блока управления, А	$I_{дн}$	50
Выпрямленное напряжение блока управления, В	$U_{дн}$	230
Напряжение трехфазной питающей сети, В	$U_{ф}$	380
Частота трехфазной питающей сети, Гц	$f_{ф}$	50
Диапазон регулирования	$D$	10000
Перегрузка по моменту	-	До 6

### 1.4.3 Функциональная схема электропривода и ее основные элементы

Электропривод представляет собой электромеханическое устройство, служащее для регулирования и стабилизации скорости вращения ДПТ в диапазоне 1:1000.

Для электропривода применена структура с ПИ-регулятором скорости, адаптивным устройством для линеаризации характеристик электропривода и обратной связи по току на вход управляющего органа СИФУ.

Функциональная схема приведена на рисунке 4 где:

ТП – реверсивный тиристорный преобразователь.

СИФУ – система импульсно-фазового управления.

L – сглаживающий реактор.

M – ДПТ со встроенным тахогенератором ВР.

РС – регулятор скорости.

УЗТ – узел зависимого токоограничения.

НЗ – нелинейное звено.

ФПЕ – функциональный преобразователь ЭДС двигателя.

ПХ – переключатель характеристик.

ЛУ – логическое устройство.

УО – управляющий орган.

БЗ – блок защиты.

ДТ – датчик тока.

ДПВ – датчик проводимости вентиляей.

**Назначение каждого элемента функциональной схемы:**

ТП – состоит из согласующего силового трансформатора и двух управляемых выпрямительных мостов выполненных по трёхфазной мостовой схеме, включенных встречно - параллельно и работающих по принципу раздельного управления.



**СИФУ** – общая для двух групп вентилях реверсивного преобразователя, выполнена по вертикальному принципу управления и состоит из трёх одинаковых каналов, каждый из которых поочерёдно, в зависимости от полуволны питающего напряжения, формирует управляющие импульсы на тиристоры анодной и катодной группы соответствующей фазы.

**L** – предназначен для уменьшения зоны прерывистых токов, а также для ограничения пиков тока в якорной цепи электродвигателя

**РС** – выполнен на операционных усилителях DA1, DA2; регулятор скорости сделан двухканальным. Первый канал – усилитель DA1 обеспечивает усиление сигнала и быстроедействие, второй усилитель DA2 осуществляет компенсацию температурной и временной нестабильности регулятора.

**УЗТ** – обеспечивает, в зависимости от подключения, ограничение тока якоря на заданном уровне ( «токовая отсечка» ) и зависимое ограничение в функции скорости вращения. Принцип работы схемы токоограничения основан на ограничении выходного напряжения регулятора скорости, которое определяет максимальный заданный ток якоря.

**НЗ** – предназначено для работы в режиме прерывистых токов и имеет характеристику, обратную регулировочной характеристике управляемого выпрямителя.

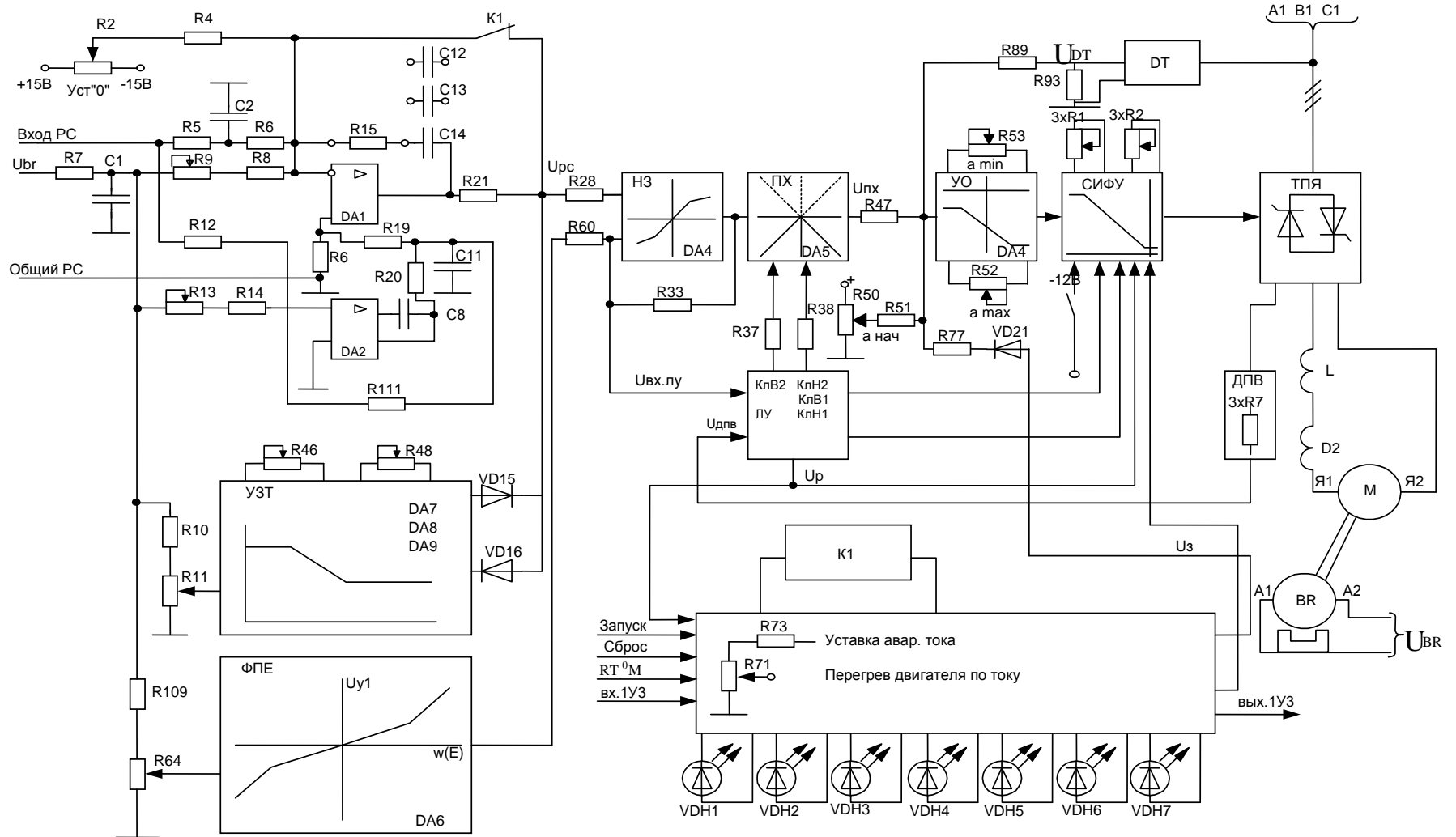


Рисунок 4. Функциональная схема

#### 1.4.4 Выбор трансформатора

Трехфазные преобразовательные трансформаторы являются специализированными устройствами, предназначенными для питания тиристорных преобразователей систем электропривода постоянного тока с трехфазной мостовой схемой выпрямления.

В общем случае выбор согласующего силового трансформатора для тиристорного преобразователя производится по расчетным значениям тока и напряжения вентильной (вторичной) обмотки и типовой мощности трансформатора. Расчет ведется для предполагаемого соединения вентильной обмотки Y. В этом случае  $I_{2\Phi} = I_{2Л}$ ,  $U_{2\Phi} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{3}}$ .

Расчетное значение фазной ЭДС вентильной обмотки трансформатора может быть выбрано из следующих трех условий:

- Обеспечение заданной максимальной скорости электропривода при пониженном напряжении сети и номинальном токе двигателя

$$E_{2\Phi, \text{РАСЧ}} = k_{U2\Phi} \cdot k_{\alpha} \cdot \frac{1}{k_{UC}} \cdot (1 + k_R) \cdot U_{ДВМАКС} = 0,428 \cdot 1,015 \cdot \frac{1}{0,85} (1 + 0,1) \cdot 220,27 = 124В$$

где  $k_{U2\Phi}$  – коэффициент схемы,  $k_{U2\Phi} = E_{2\Phi} / E_{d0} = 0,428$ ;

$k_{\alpha}$  – коэффициент запаса, учитывающий неполное открывание тиристорных преобразователя;

$k_{UC}$  – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможное снижение напряжения питающей сети,  $k_{UC} = 0,85$  – для сети 380 В;

$k_R$  – коэффициент запаса, учитывающий падение напряжения в тиристорах, обмотках трансформатора, а также за счет коммутаций,  $k_R = 0,05 \div 0,1$ ;

$U_{ДВ.МАКС.}$  – максимальное значение напряжения на двигателе при номинальном токе и максимальной скорости привода, В.

$$k_{\alpha} = \frac{1}{\cos \alpha_{МИН}} = \frac{1}{\cos 10^{\circ}} = \frac{1}{0,9848} = 1,015$$

$$U_{ДВ.МАКС.} = c \cdot \omega_{ЭПМАКС} + I_{ДВН} \cdot R_{ДВГОР} = 0,6799 \cdot 314,55 + 37,75 \cdot 0,16988 = 220,27В$$

где  $c$  – коэффициент ЭДС вращения двигателя, В•с/рад;

$\omega_{ЭПМАКС}$  – максимальная скорость привода,  $\omega_{ЭПМАКС}=314,55\text{рад/с}$ ;

$I_{ДВН}$  – номинальный ток двигателя, А;

$R_{ДВГОР}$  – сопротивление двигателя в горячем состоянии, Ом.

$$c = \frac{U_{ДВН} - I_{ДВН} \cdot R_{ДВГОР}}{\omega_{ДВНОМ}} = \frac{220 - 37,75 \cdot 0,16988}{314,159} = 0,6799 \frac{В \cdot с}{рад}$$

$\omega_{ДВНОМ}$  – номинальная скорость двигателя,  $\omega_{ДВНОМ}=314,159\text{рад}\cdot\text{с}$ ;

$$I_{ДВН} = \frac{P_H}{\eta_H \cdot U_{ДВН}} = \frac{7100}{0,855 \cdot 220} = 37,75 А$$

где  $P_H$  – номинальная мощность электродвигателя,  $P_H=7,1$  кВт;

$\eta_H$  – номинальное КПД двигателя,  $\eta_H=0,855$

$$R_{ДВГОР} = 1,24 \cdot (R_{ОЯ+15\text{с}} + R_{ДП+15\text{с}}) = 1,24(0,081 + 0,056) = 0,16988 \text{ Ом}$$

- Обеспечение предельных динамических характеристик электропривода при номинальном напряжении сети

$$E_{2ФРАСЧ} = k_{U2Ф} \cdot k_{\alpha} \cdot \left( 1 + k_R \cdot \frac{I_{ДОП}}{I_{ДВН}} \right) \cdot U_{ДВМАКС} = 0,428 \cdot 1,015 \left( 1 + 0,1 \frac{94,4}{37,75} \right) \cdot 230 = 125 В$$

где  $I_{ДОП}$  – максимальный ток двигателя, А;

$U_{ДВМАКС}$  – максимальное напряжение двигателя, В.

$$I_{ДОП} = 2,5 \cdot I_{ДВН} = 2,5 \cdot 37,75 = 94,4 А$$

$$U_{ДВМАКС} = c \cdot \omega_{ЭПМАКС} + I_{ДОП} \cdot R_{ДВГОР} = 0,6799 \cdot 314,55 + 94,4 \cdot 0,16988 = 230 В$$

- Сохранение предельных динамических характеристик привода при пониженном напряжении сети

$$E_{2ФРАСЧ} = \frac{k_{U2Ф} \cdot k_{\alpha}}{k_{UC}} \cdot \left( 1 + k_R \frac{I_{ДОП}}{I_{ДВН}} \right) \cdot U_{ДВМАКС} = \frac{0,428 \cdot 1,015}{0,85} \cdot \left( 1 + 0,1 \frac{94,4}{37,75} \right) \cdot 230 = 146,99 В$$

исходя из требований к динамическим характеристикам привода, выбирается необходимое значение  $E_{2ФРАСЧ}$ .

- Расчетное действующее значение фазного тока вентильной обмотки

$$I_{2ФРАСЧ} = k_I \cdot k_{I2Ф} \cdot I_{ДВН} = 1,05 \cdot 0,815 \cdot 37,75 = 32,3 А$$

где  $k_1$  – коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от

прямоугольной,  $k_1=1,05 \div 1,1$ ;

$k_{I2\Phi}$  – коэффициент схемы выпрямления по току вторичной обмотки,

$$k_{I2\Phi}=I_{2\Phi}/I_d=0.815.$$

- Расчетная типовая мощность трансформатора

$$S_{TTPPACЧ} = k_s \cdot \frac{E_{2\Phi PACЧ}}{k_{U2\Phi}} \cdot k_1 \cdot I_{ДВН} = 1,045 \cdot \frac{146,99}{0,428} \cdot 1,05 \cdot 37,75 = 14225, B \cdot A$$

где  $k_s$  - коэффициент схемы выпрямления по мощности,  $k_s=S_T/P_d=1.045$ .

Выбираем трансформатор имеющий параметры:

$$S_{TP} \geq S_{TTPPACЧ} \geq 14215,79 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$U_{2H} \geq E_{2\Phi PACЧ} \geq 146,89 \text{ В};$$

$$I_{2H} \geq I_{2\Phi PACЧ} \geq 32,3 \text{ А}.$$

Выбираем трансформатор типа ТСТ параметры которого приведены в таблице 6.

Наименование, размерность	Обозначения физических величин	Численное значение
Тип трансформатора		ТСТ – 16
Сетевая обмотка		
Мощность, кВА		16
Напряжение, В		380
Вентильная обмотка		
Мощность, кВА		15,4
Напряжение, В		104/208
Потери короткого замыкания, Вт		310
Напряжение короткого замыкания, %		6,1
Активное сопротивление, Ом	R <sub>ф</sub>	0,057
Индуктивное сопротивление, Ом	X <sub>ф</sub>	0,161
Индуктивность фазы L <sub>ф</sub> , Гн		0,51•10 <sup>-3</sup>

## 4.5 Выбор сглаживающего реактора

Включение сглаживающего дросселя в якорную цепь позволяет ограничить величину переменных составляющих и, тем самым, улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики, однако одновременно вызывает увеличение габаритов и веса привода, его стоимости и ухудшение динамических свойств.

В РЭП индуктивность сглаживаемого дросселя выбирается из условия уменьшения зоны прерывистых токов при отдельном управлении преобразователя до уровня минимального значения тока нагрузки (или тока холостого хода двигателя) и ограничения пульсаций тока двигателя до допустимых значений.

Определение необходимой величины индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения зоны прерывистых токов.

Наибольшая ширина зоны прерывистых токов при отдельном управлении имеет место при угле  $\alpha=90^\circ$ , тогда минимальное значение индуктивности цепи выпрямленного тока (тока нагрузки) для получения граничного – непрерывного режима определяется выражением:

$$L_{\text{кн1}} = \frac{1}{\omega c} \cdot K_{\text{тр.макс}} \cdot \frac{E_{\text{д0}}}{I_{\text{дгр}}} = \frac{1}{314} \cdot 0,093 \cdot \frac{281}{5,6625} = 0,0147 \text{ Гн}$$

где  $I_{\text{дгр}}$  – значение начального – непрерывного тока, А;

$E_{\text{д0}}$  – максимальная выпрямленная ЭДС преобразователя, В.

$$I_{\text{дгр}} = (0,1 - 0,15) I_{\text{н}} = 0,15 \cdot 37,75 = 5,6625 \text{ А}$$

$$K_{\text{тр.макс}} = 1 - \frac{\pi}{m\alpha} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m\alpha} = 1 - \frac{\pi}{6} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{6} = 0,093$$

$$E_{\text{д0}} = \frac{U_{2\text{л}}}{K_{U_{2\text{л}}}} = \frac{208}{0,74} = 281 \text{ В}$$

Индуктивность добавочного дросселя определяется:

$$L_{\text{др1}} = L_{\text{кн1}} - \sum L_{\text{тр.н}} - L_{\text{дв}} = 14,7 - 2 \cdot 0,51 - 2,6 = 11,08 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

где  $\sum L_{\text{тр.н}}$  – суммарная индуктивность обмоток трансформатора

Определение необходимой величины индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения пульсаций выпрямленного тока.

Пульсации выпрямленного напряжения приводит к пульсациям выпрямленного тока, которые ухудшают его нагрев. Кривая выпрямленного напряжения содержит две составляющие – постоянную, равную среднему значению выпрямленного напряжения и переменную, состоящую из спектра гармоник. Ограничиваемая с учетом влияния первой гармоники необходимая величина индуктивности цепи тока определяется из выражения:

$$L_{кн2} = \frac{Ed_{1\max} \cdot 100}{m\omega \cdot P\% \cdot Id} = \frac{68.125 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 15 \cdot 37,75} = 6.39 \cdot 10^{-3}, \text{Гн}$$

где  $Ed_{1\max}$ -действующее значение первой гармоники пульсирующего выпрямленного напряжения при угле управления  $\alpha=90^\circ$ , В;

$$Ed_{1\max} = E_{d0} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot m\omega}{(m\omega^2 - 1)} = 281 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 6}{(6^2 - 1)} = 68.125, \text{В}$$

$P(1)\%$ - допустимое действующее значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах,  $P(1)\%=2-15\%$ ;

Индуктивность добавочного дросселя определяется по следующему выражению:

$$L_{др2} = L_{кн2} - \sum L_{трн} - L_{дв} = 6,39 - 2 \cdot 0,51 - 2,6 = 2,77 \cdot 10^{-3}, \text{Гн}$$

Выбираем два дросселя типа РТП-9 со следующими параметрами:

$$R_{др} = 0.04 \text{ Ом}$$

$$L_{др} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

### 1.4.6 Расчет параметров силовой цепи

Расчетное сопротивление силовой цепи:

$$R_{яц} = R_{д.гор} + R_{тп} + R_{к} = 0,16988 + 0,1535 + 0,154 = 0,47738 \text{ Ом}$$

где  $R_{тп}$  - эквивалентное сопротивление тиристорного преобразователя, Ом;

$R_{к}$  – сопротивление, вносимое за счет коммутации анодных токов, Ом;

$$R_{к} = \frac{m \cdot X_{тр} \cdot \phi}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,161}{2 \cdot \pi} = 0,154, \text{ Ом}$$

$$R_{тп} = \frac{R_{уб} + R_{др}}{2} = \frac{0,267 + 0,04}{2} = 0,1535 \text{ Ом}$$

где  $R_{уб}$  – эквивалентное сопротивление силовой цепи управляемого выпрямителя в режиме непрерывного тока, Ом;

$$R_{уб} = 2 \cdot R_{2\phi} + \frac{3 \cdot \omega_c \cdot L_{2\phi}}{\pi} = 2 \cdot 0,057 + \frac{3 \cdot 314 \cdot 0,51 \cdot 10^{-3}}{\pi} = 0,267, \text{ Ом}$$

Расчетное значение индуктивности силовой цепи

$$L_{яц} = L_{дв} + L_{тп} = 2,6 + 3,91 = 6,51 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

где  $L_{тп}$  – эквивалентная индуктивность тиристорного преобразователя, Гн;

$$L_{тп} = \frac{L_{уб} + L_{др}}{2} = \frac{1,02 \cdot 10^{-3} + 6,8 \cdot 10^{-3}}{2} = 3,91 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн}$$

где  $L_{уб}$  – эквивалентная индуктивность силовой цепи управляемого выпрямителя в режиме непрерывного тока, Гн;

$$L_{уб} = 2 \cdot L_{2\phi} = 2 \cdot 0,51 \cdot 10^{-3} = 1,02 \cdot 10^{-3}, \text{ Гн}$$

Электромагнитная постоянная силовой цепи:

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{6,51 \cdot 10^{-3}}{0,47738} = 0,0136, \text{ С}$$



### 1.4.7 Проверка области существования электромеханических характеристик электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода замкнутой системы должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой разомкнутой системы преобразователь – двигатель. Последняя, в свою очередь, ограничена предельными характеристиками, соответствующими работе проводящей группы тиристоров в режиме предельного инвертирования, а в выпрямительном режиме – при минимальном угле управления. Выполнение этого условия требует большого запаса по напряжению и мощности преобразователя и силового трансформатора. При этом должны выполняться следующие условия: при пониженном напряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления должна быть обеспечена скорость  $\omega = \omega_{ЭП.МАКС}$  при токе  $I = I_{ДВ.Н}$ , а при реверсировании электропривода должна обеспечиваться безопасное инвертирование при допустимом токе перегрузки.

Определяем значение минимального угла управления преобразователя  $\alpha_{МИН}$  в выпрямительном режиме при пониженном напряжении сети по формуле:

$$\alpha_{МИН} = \arccos \frac{c \cdot \omega_{ЭПМАКС} + I_{ДОП} \cdot R_{ЯЦ}}{k_{UC} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{0.6799 \cdot 314.16 + 37.75 \cdot 0.47738}{0.85 \cdot 281} = 14^\circ$$

Принимаем  $\alpha_{МИН} = 14^\circ$

При выбранном  $\alpha_{МИН}$  рассчитывается и строится электромеханическая характеристика разомкнутой системы электропривода при работе преобразователя в выпрямительном режиме :

$$\omega_{МАКС}(I) = \frac{1}{c} (k_{UC} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{МИН} - R_{ЯЦ} \cdot I_{Я}), \frac{рад}{с}$$

Данные расчетов приведены в таблице №6

Рассчитывается и строится предельная характеристика безопасного инвертирования при работе преобразователя в инверторном режиме:

$$\omega_{\text{МАКС}}(I) = \frac{1}{c} [k_{UC} \cdot E_{d0} \cos \delta + (R_{\text{ТП}} - R_{\text{ДВ}}) \cdot I_{Я}] \frac{\text{рад}}{c}$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 0,28 + 3 = 3,28^\circ$$

где  $\delta_1$  – угол, соответствующий времени восстановления запирающих свойств вентиля тв, град;

$\delta_2$  – предельно допустимое значение асимметрии импульсов управления,  $\delta_2 = 3^\circ$ ;

$$\delta_1 = \frac{180 \cdot \omega c \cdot t_{\text{в}}}{\pi} = \frac{180 \cdot 314 \cdot 15 \cdot 10^{-6}}{\pi} = 0,28, \text{ град}$$

Данные расчетов приведены в таблице №6

Для максимального тока определяется значение максимального угла управления из условия предельного безопасного инвертирования:

$$\alpha_{\text{МАКС}} = \arccos \left( \frac{2 \cdot R_{\text{ТП}} \cdot I}{k_{UC} \cdot E_{d0}} - \cos \delta \right) = \arccos \left( \frac{2 \cdot 0,1535 \cdot 94,4}{0,85 \cdot 281} - \cos 3,28^\circ \right) = 152^\circ$$

Для найденного значения угла  $\alpha_{\text{МАКС}}$  рассчитывается и строится электромеханическая характеристика разомкнутой системы электропривода при работе преобразователя в инверторном режиме:

$$\omega_{\text{МАКС}}(I) = \frac{1}{c} (-k_{UC} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{МАКС}} - R_{\text{ЯЦ}} \cdot I_{Я}) \frac{\text{рад}}{c},$$

Данные расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7 - результаты расчетов области существования электромеханических характеристик электропривода.

		$\alpha,^\circ$	$I_{Я}=0\text{А}$	$I_{Я}=94,4\text{А}$
$\omega$	Выпрямительный режим	14	340,87	274,58
	Инверторный режим		350,73	373,5
	Инверторный режим	152	307,3	373,5

По данным из таблицы строим электромеханические характеристики при работе преобразователя в выпрямительном и инверторном режимах. Характеристики приведены на рисунке 5.

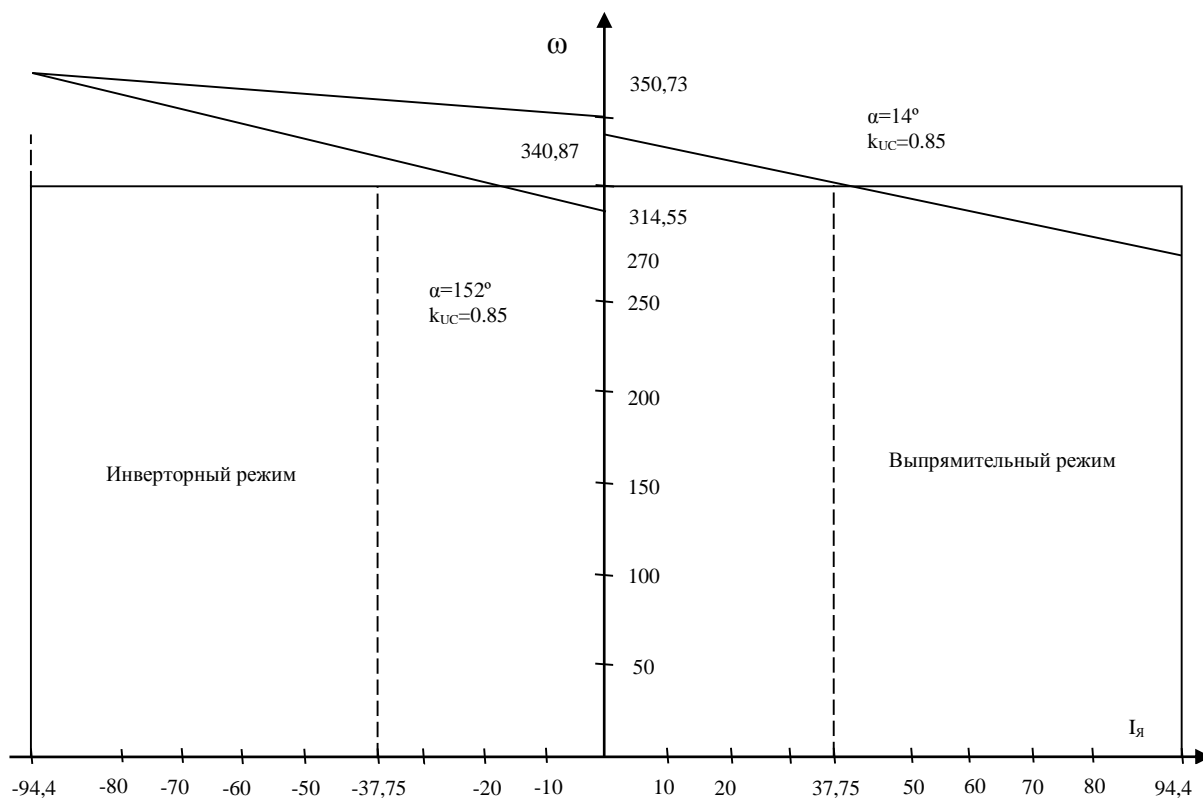


Рисунок 5. Область существования электромеханических характеристик электропривода.

Скорость двигателя в установившемся режиме определяется величиной среднего значения выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя и падением напряжения в цепи, образованной вторичной обмоткой трансформатора, тиристором, обмоткой якоря и дросселями.

В области малых нагрузок электромеханические характеристики существенно нелинейные с изменяющейся жёсткостью. С уменьшением нагрузки имеет место резкий подъём скорости из-за явлений, связанных с прерывистым характером тока якоря. В режиме прерывистого тока в преобразователе тиристор прекращает проводить ток до момента отпирания тиристора следующей фазы. Скорость двигателя в установившемся режиме определяется величиной среднего значения выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя и падением напряжения в цепи, образованной тиристором, обмоткой якоря и дросселями.

Скорость вращения вала электродвигателя:

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

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

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

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

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

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

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

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

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол  $\alpha$ . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится

отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрямленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к прерывистому соответствует режим начально-непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла  $\alpha$  и параметров схемы.

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

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

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

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

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

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

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

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

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

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

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

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

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристорov  $\alpha$  (в диапазоне  $0 \dots 180$ ) и угол проводимости  $\lambda$  ( $0 \dots 60$ ), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 13:

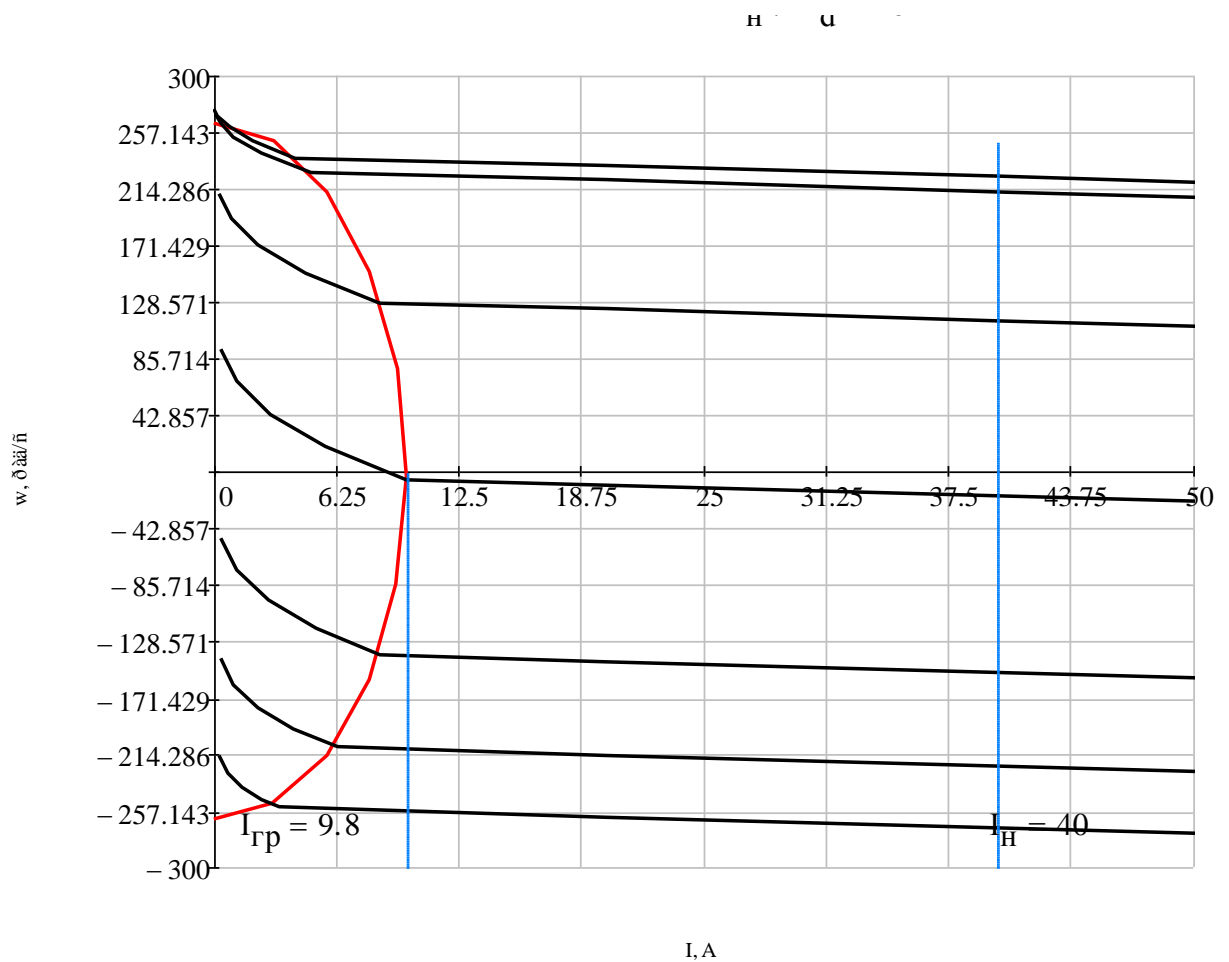


Рисунок 13 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с  
раздельным управлением

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

Как видно из графиков рисунка 13 отношение  $\frac{I_{дгрmax}}{I_{дн}} = \frac{9,8}{40} = 0,245$ , что является приемлемым.

### 1.4.8 Расчет параметров преобразователя

В практике применения тиристорных преобразователей для электроприводов постоянного тока имеет место большое разнообразие систем управления как по принципу работы, так и по схемной реализации. Для реверсивных электроприводов дополнительно задаётся закон управления группами вентилей. В нашем случае имеем СИФУ с линейным опорным напряжением, отдельным управлением вентильными группами и, соответственно, для него будем производить расчёт:

Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя  $E_d(\alpha)$  в режиме непрерывного тока определяется выражением:

$$E_d = E_{d0} \cdot \cos \alpha, B,$$

Задаваясь значениями угла управления тиристоров рассчитываем значения ЭДС. Данные расчетов приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Данные расчетов регулировочная характеристика управляемого выпрямителя в режиме непрерывного тока

$\alpha$	15	30	45	60	90	120	150	152
$E_d$	271,4	243,4	198,7	140,5	0	-140,5	-243,4	-248,1

Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя  $E_d(\alpha)$  в режиме непрерывного тока приведена на рисунке 7.



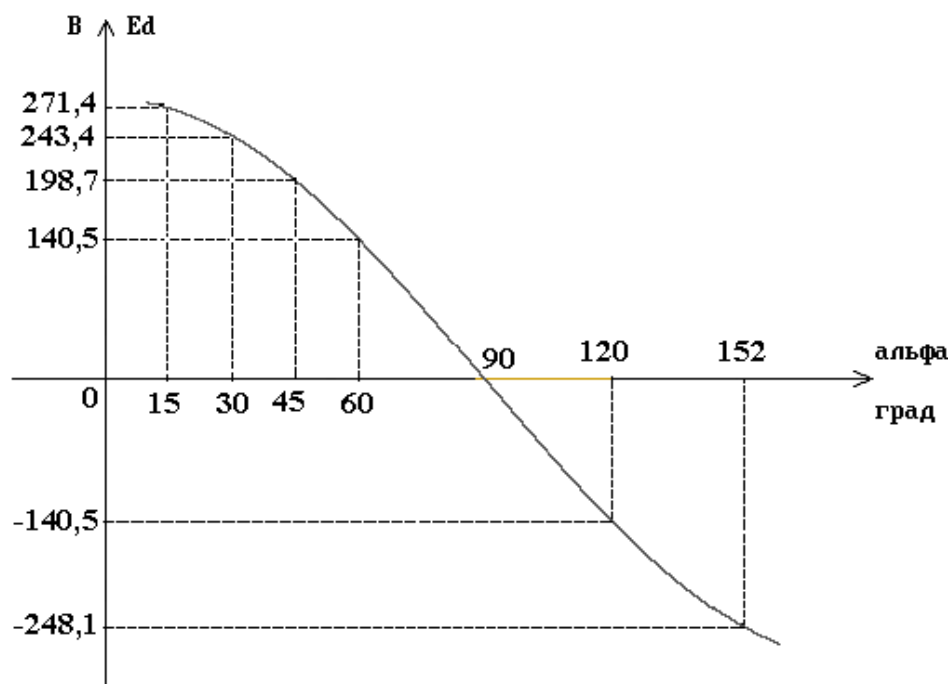


Рисунок 7. Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя  $E_d(\alpha)$  в режиме непрерывного тока

Регулировочная характеристика тиристорного преобразователя  $E_{ТП}(U_{УП})$  в режиме непрерывного тока определяется выражением:

$$E_{ТП} = E_{d0} \cdot \cos\left(\alpha_{нач} - \frac{\pi \cdot k_{yo} \cdot U_{УП}}{2 \cdot U_{ОПМАКС}}\right), B$$

где  $\alpha_{нач}$  – начальный угол управления,  $\alpha_{нач}=120^\circ$ ;

$k_{yo}$  – коэффициент управляющего органа;

$U_{УП}$  – управляющее напряжение, В;

$U_{ОПМАКС}$  – максимальное опорное напряжение,  $U_{ОПМАКС}=5$  В.

$$k_{yo} = \frac{(\alpha_{нач} - \alpha_{мин})}{\pi} \cdot \frac{2U_{опмакс}}{U_{упмакс}} = \frac{(120 - 10)}{180} \cdot \frac{2 \cdot 5}{0,611} = 1$$

где  $U_{упмакс}$  – максимальное значение напряжения управления преобразователем, принимаем  $U_{упмакс}=0,611$  В.

Задаваясь значениями управляющего напряжения рассчитываем значения ЭДС тиристорного преобразователя. Данные расчетов приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Данные расчетов значений ЭДС тиристорного преобразователя.

$U_{yII}$	-6,11	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6,11
$E_{TII}$	-281	-281	-281	-279	-257	-209	-140,5	-58	29	114	188	243	277

Регулировочная характеристика тиристорного преобразователя  $E_{TII}(U_{yII})$  в режиме непрерывного тока приведена на рисунке №8

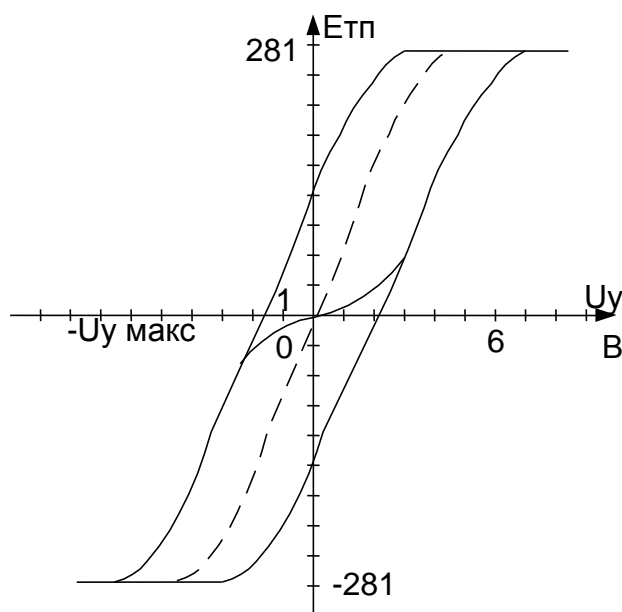


Рисунок 8 Регулировочная характеристика ТП  $E_{TII}(U_y)$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя в режиме непрерывного тока может быть определен по выражению:

$$k_{TII} = k_{TII\text{МАКС}} \cdot \cos \left[ \frac{\pi \cdot k_{yO} \cdot U_{yII}}{U_{OII\text{МАКС}}} - \sin \left( \alpha - \frac{\pi}{2} \right) \right]$$

где  $k_{TII\text{МАКС}}$  – максимальный коэффициент усиления тиристорного преобразователя в режиме непрерывного тока.

$$k_{TII\text{МАКС}} = \frac{\pi \cdot k_{yO} \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{OII\text{МАКС}}} = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 281}{10} = 88,278$$

Постоянная времени тиристорного преобразователя:

$$T_{TII} = \frac{0,5}{m_B \cdot f_C} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с}$$

### 1.4.9 Структурная схема и параметры силового канала

В настоящее время широкое практическое применение получил РЭП постоянного тока с ТП, выполненный, в общем случае, по многоконтурной структурной схеме с последовательной коррекцией. Привод ЭПУ1 выполнен по структуре 2А. Он представляет собой двухконтурную структуру с ПИ – РС и дополнительной жесткой положительной обратной связью по току на вход ТП. С помощью дополнительной жесткой положительной обратной связи по скорости на вход ТП компенсируется влияние отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя.

Структурная схема электропривода представлена на рисунке 9.

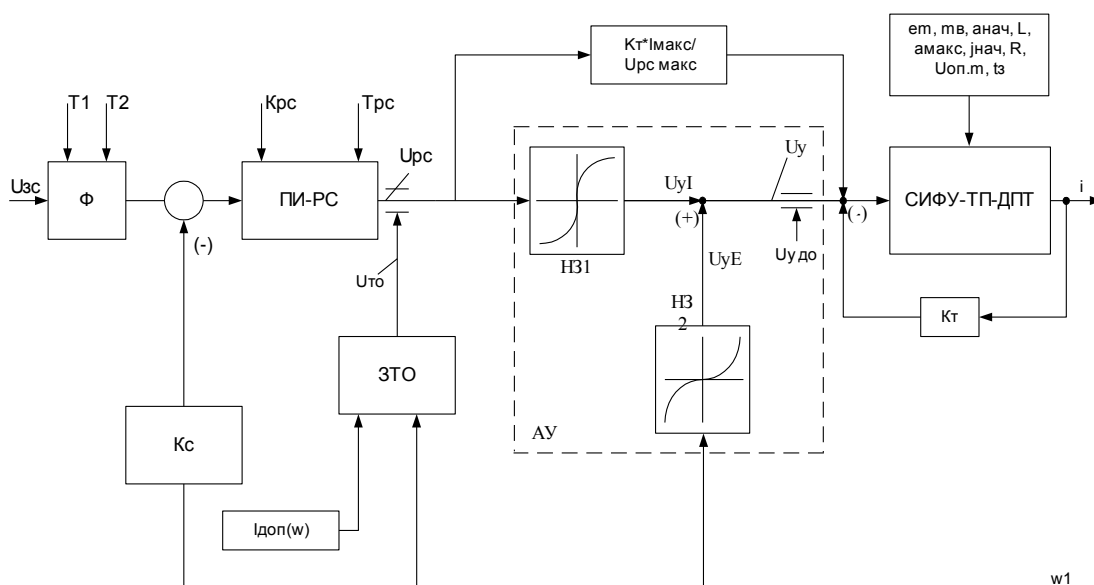


Рисунок 9 Структурная схема электропривода

В структурной схеме приняты следующие обозначения:

$W(p) \phi := \frac{T1p + 1}{T2p + 1}$  передаточная функция фильтра, оптимизирующего реакцию РЭП на ступенчатое управляющее воздействие.

$W(p) pc := Kpc \cdot \frac{Trcp + 1}{Trc}$  передаточная функция ПИ-РС

$W(p)$  мехчасти :=  $\frac{C}{Jp}$  передаточная функция механической части двигателя

$W(p)$  яц :=  $\frac{1}{\frac{R_{яц}}{T_{яц}p + 1}}$  передаточная функция электрической части двигателя

где  $K_{тп}$  – коэффициент усиления ТП

$C$  – конструктивная постоянная двигателя

$K_t$  – коэффициент обратной связи по току

$K_c$  – коэффициент обратной связи по скорости

$\Phi$  – фильтр на входе РЭП

ПИ-РС – пропорционально-интегральный регулятор скорости

$K_t^1$  – коэффициент передачи обратной связи по току, реализующий ограничение в соответствии с действием функционального преобразователя. С помощью блока, включенного в цепь обратной связи с  $K_t^1$  обеспечивается ограничение тока на уровне допустимого  $I_{доп}(w)$ .

Надежность и технико-экономические показатели тиристорных электроприводов в значительной степени зависят от применяемых силовых схем. Сложность силовых схем зависит от мощности преобразователя – чем больше мощности тем сложнее силовая техника. Силовые схемы отличаются по числу и способу включения тиристорных, предохранителей, автоматических выключателей и реакторов. Основной схемой выпрямления тиристорных преобразователей для электроприводов является трехфазная мостовая.

Упрощенная силовая схема приведена на рисунке 10.

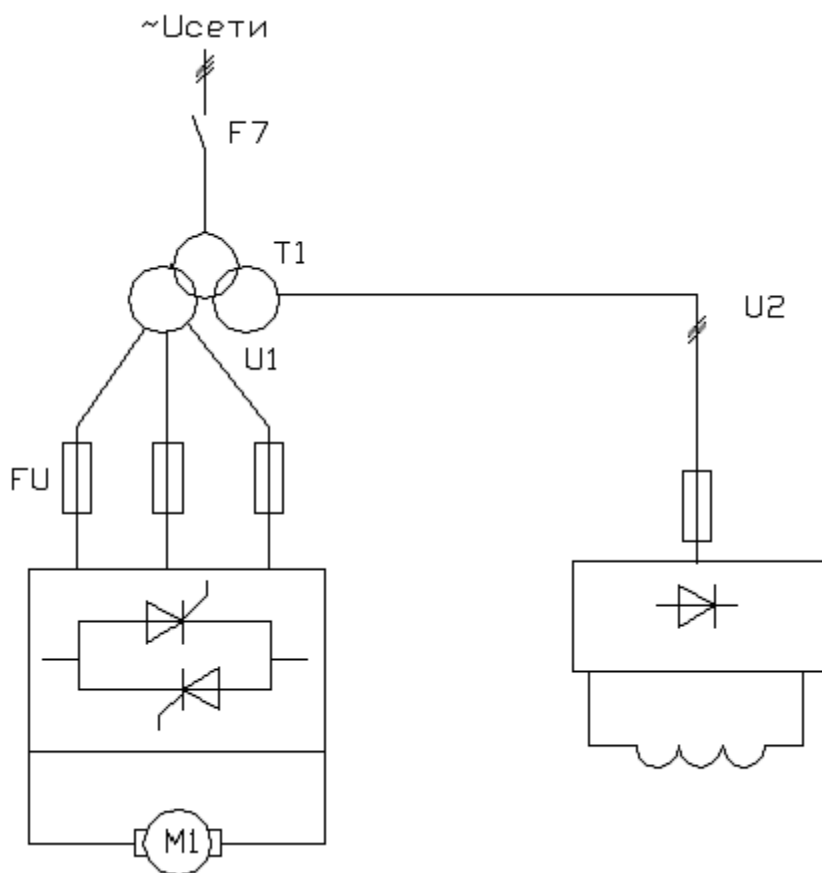


Рисунок 10 Схема электрическая принципиальная упрощённая

Современные тиристорные преобразователи имеют развитую систему защиты:

- для уменьшения перенапряжений, обусловленной коммутацией вентилей, применяют RC – цепочки, шунтирующие тиристоры;
- защита от внутренних коротких замыканий осуществляется быстродействующим автоматическим выключателем на стороне переменного тока;
- защита от внешних коротких замыканий на входе выпрямителя осуществляется быстродействующим автоматическим выключателем на стороне переменного тока;

## **2 СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Задачей синтеза САУ РЭП является, в первую очередь, задача динамического синтеза, под которым подразумевается определение параметров элементов, обеспечивающих требуемые динамические свойства всей системы. В случаях, когда заданы структурная схема САУ и параметры механической системы и силовой части электрической системы электропривода, задача сводится к определению параметров корректирующих цепей. Эта задача не является однозначной, поэтому важен выбор метода расчёта, который, обладая простотой и наглядностью, позволял бы рассмотреть несколько вариантов и выбрать наиболее рациональный. Этим требованиям удовлетворяют методы расчёта, базирующиеся на использовании ЛАЧХ.

На этапе предварительного синтеза САУ РЭП используются линеаризованные характеристики системы и её элементов, и, соответственно, методы синтеза линейных систем. При синтезе по заданным показателям качества определяют желаемые частотные характеристики корректирующих цепей. Эти методы синтеза хорошо развиты в ТАУ. При проектировании электроприводов, выполненных по многоконтурной структуре с последовательной коррекцией, для построения желаемых ЛАЧХ разомкнутых контуров получили распространение настройки на модульный оптимум (технический оптимум) и симметричный оптимум.

## 2.1 Структурная схема линеаризованной САУ РЭП

Структурная схема линеаризованной САУ РЭП приведена на рисунке 11.

На схеме обозначено:

Вх.Ф – входной фильтр;

РИ-РС – ПИ регулятор скорости;

Кос – коэффициент обратной связи по скорости;

Кдс – коэффициент датчика скорости;

Ктп – коэффициент усиления тиристорного преобразователя;

Кот - коэффициент обратной связи по току;

Кдт - коэффициент датчика тока;

С – конструктивная постоянная двигателя;

Кпос – коэффициент положительной обратной связи;

Уф – напряжение с выхода фильтра;

Уос – напряжение обратной связи по скорости;

Урс – напряжение с выхода регулятора скорости;

Уот – напряжение обратной связи по току;

$e_{тп}$  – ЭДС тиристорного преобразователя;

$e_{дв}$  – ЭДС двигателя;

$i_{я}$  – ток якоря двигателя;

М – номинальный момент двигателя;

Мс – статический момент.

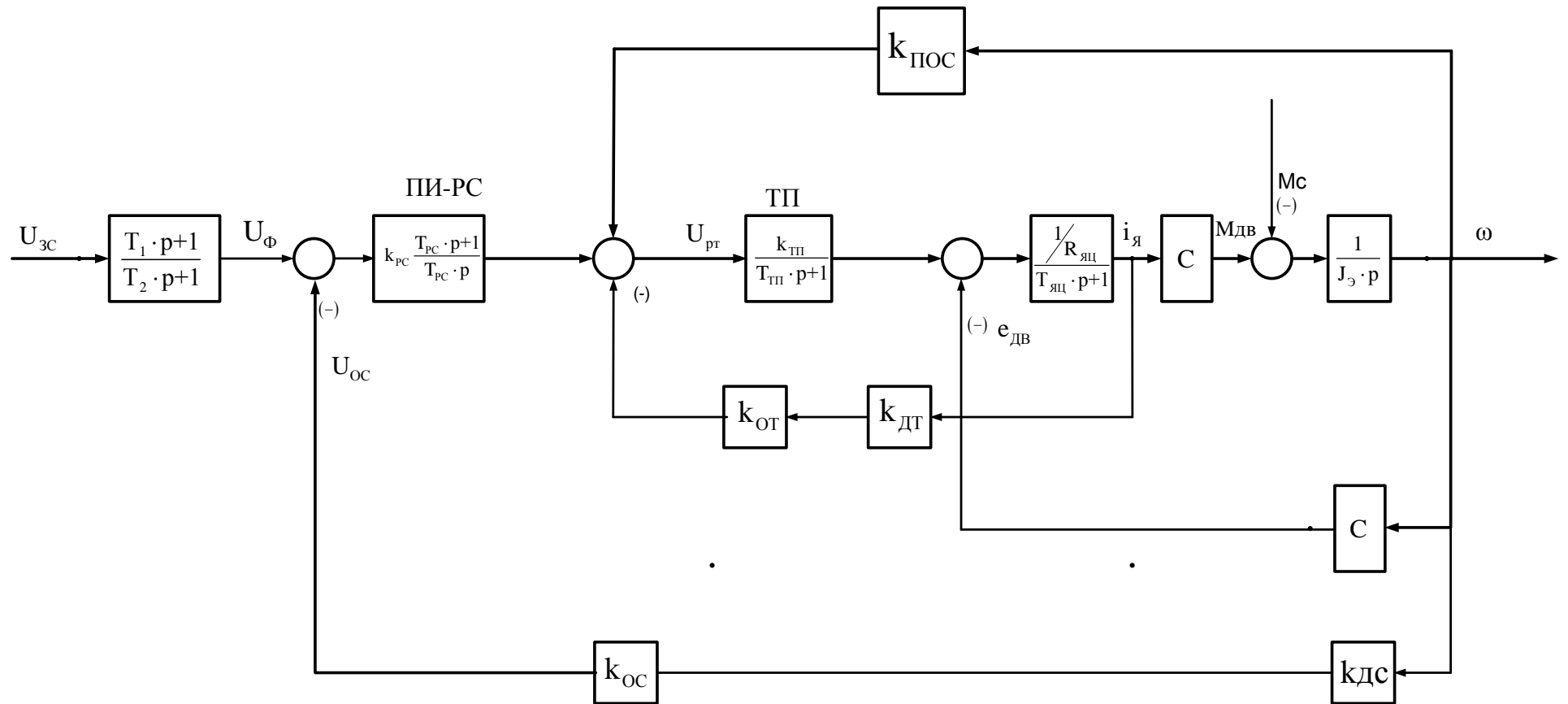


Рис 11 Структурная схема линейризованной САУ РЭП



## 2.2 Синтез оптимальных настроек линеаризованной САУ РЭП

Из шести точек настройки САУ РЭП была выбрана точка №2 со следующими коэффициентами оптимизации:

$$A = 0.823, B = 0.2, C = 0.7, A-1/\tau_{опт} = 0,388$$

Используя эти данные и учитывая настройку системы на  $\omega_p = 2 \cdot \pi \cdot f_{р\text{эп}} = 2 \cdot \pi \cdot 20 = 125.664 \text{ с}^{-1}$ , для структуры 2а рассчитываем оптимальные параметры настройки системы.

Коэффициент положительной обратной связи на вход преобразователя:

$$k_{пос} = \frac{c}{K_{ТП}} = \frac{0,6799}{88,278} = 0,0077 \frac{B \cdot c}{рад}$$

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$K_c = \frac{U_{зз\text{доп}}}{\omega_{МАКС}} = \frac{10}{314,159} = 0,03183 B \cdot c$$

Коэффициент обратной связи по току:

$$K_T = \frac{R_{яц}}{K_{ТП}} \cdot \left( T_{яц} \cdot \frac{\omega_p}{C^*} - 1 \right) = \frac{0,47738}{88,278} \left( 0,0136 \cdot \frac{125,664}{0,7} - 1 \right) = 0,00783 \frac{B}{A}$$

Коэффициент усиления регулятора скорости:

$$K_{PC} = \frac{A^* \cdot J \cdot R_{яц} \cdot T_{яц}}{K_{ТП} \cdot K_c \cdot c} \cdot \frac{\omega_p^2}{C^{*2}} = \frac{0,823 \cdot 0,089022 \cdot 0,47738 \cdot 0,0136}{88,278 \cdot 0,03183 \cdot 0,6799} \cdot \frac{125,664}{0,7^2} = 7,9443$$

Постоянная времени регулятора скорости:

$$T_{PC} = \frac{A^* \cdot C^*}{B^* \cdot \omega_p} = \frac{0,823}{0,2} \cdot \frac{0,7}{125,664} = 0,02292c$$

Постоянные времени фильтра:

$$T_1 = \frac{1}{B^*} \cdot \frac{C^*}{\omega_p} \cdot \left( A^* - \frac{1}{\tau_{опт}} \right) = \frac{1}{0,2} \cdot \frac{0,7}{125,664} \cdot 0,388 = 0,010807, c$$

$$T_2 = T_{PC} = 0,02292c$$

$$T_T = \frac{C^*}{\omega_p} = \frac{0,7}{125,664} = 0,00557c$$

$$K_{T1} = K_T + \frac{R_{яц}}{K_{ТП}} = 0,0078 + \frac{0,47738}{88,278} = 0,0132$$

$$U_{ВХРСМАКС} = 2,5 \cdot I_H \cdot K_T = 2,5 \cdot 37,75 \cdot 0,00783 = 0,5108 \text{ В}$$

## 2.3 Расчет статических характеристик и погрешности скорости

### *Режим стабилизации скорости*

Структурная схема системы электропривода для расчета электромеханических характеристик приведена на рисунке 12.

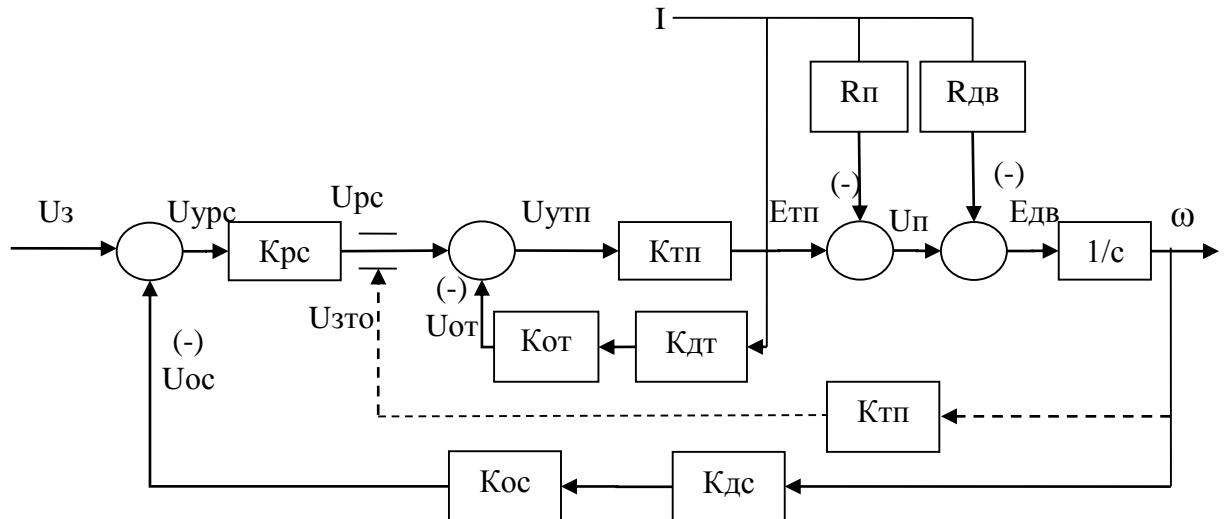


Рисунок 12 – Модель анализа статических характеристик в режиме стабилизации скорости.

Составим систему уравнений, описывающих элементы и связи в электроприводе.

$$\begin{cases}
 U_{урс} = U_3 - U_{ос} \\
 U_{ос} = K_{ос} \cdot K_{дс} \cdot \omega \\
 U_{рс} = U_{урс} \cdot K_{рс} \\
 U_{утп} = U_{рс} - U_{от} \\
 U_{от} = I \cdot K_{от} \cdot K_{дт} \\
 E_{тп} = U_{утп} \cdot K_{тп} \\
 U_{п} = E_{тп} - I \cdot R_{п} \\
 U_{п} = U_{дв} \\
 E_{дв} = C \cdot \omega \\
 U_{дв} = E_{дв} + I \cdot R_{дв}
 \end{cases}$$

Решим систему уравнений относительно угловой скорости:

$$\omega = U_3 \cdot \frac{K_D \cdot K_{ТП} \cdot K_{РС}}{\left(1 + K_{ТП} \cdot K_{РС} \cdot K_{ОС} \cdot K_{ДС}\right)} - I \cdot K_D \cdot \frac{\left(K_{ТП} \cdot K_{ОТ} \cdot K_{ДТ} + R_{П} + R_{Д}\right)}{\left(1 + K_{ТП} \cdot K_{РС} \cdot K_{ОС} \cdot K_{ДС}\right)}$$

где  $K_D=1/c$  – коэффициент передачи двигателя, управляемого по цепи обмотки якоря изменением напряжения.

Особенностью расчета характеристик в статике в режиме стабилизации скорости является то, что значения коэффициента астатического регулятора скорости принято равным коэффициенту усиления использованного операционного усилителя типа КР551УД 1А, т.е. коэффициент усиления регулятора скорости равен 10000.

$$\omega = U_3 \cdot \frac{1,471 \cdot 88,278 \cdot 10000}{\left(1 + 88,278 \cdot 10000 \cdot 0,101 \cdot 0,315\right)} - I \cdot 1,471 \cdot \frac{\left(88,278 \cdot 0,13 \cdot 0,06 + 0,1535 + 0,16988\right)}{\left(1 + 88,278 \cdot 10000 \cdot 0,102 \cdot 0,315\right)}$$

или

$$\omega = U_3 \cdot 31,518 - I \cdot 3,57 \cdot 10^{-5}$$

Данные расчетов статических характеристик сводим в таблицу 11.

Таблица 11 - Результаты расчетов статических характеристик.

$I, A$ $U_3, B$	0	37,75	94,4	$\delta, \%$
10	315,18	315,1786523	315,1766299	0,000428
5	157,59	157,5886523	157,5866299	0,000855
1	31,518	31,51665233	31,51462992	0,004276
0,3	9,4554	9,454052325	9,45202992	0,014253

Электромеханические характеристики в статике приведены на рисунке 14.

*Режим стабилизации тока*

Структурная схема системы электропривода для расчета электромеханических характеристик приведена на рисунке 13.

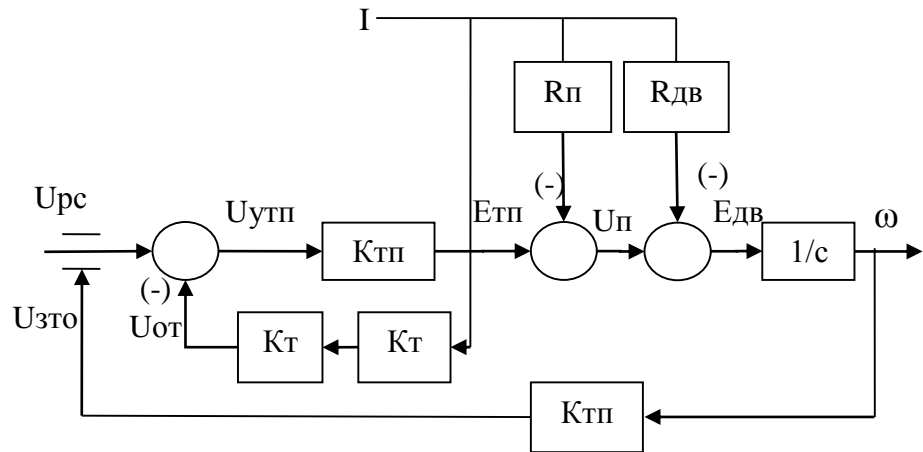


Рисунок 13 – Модель анализа статических характеристик в режиме стабилизации тока.

На основе модели составим систему уравнений:

$$\begin{cases} U_{ТП} = U_{РС} - U_{ОТ} \\ U_{ОТ} = K_{ОТ} \cdot K_{ДТ} \cdot I \\ E_{ТП} = U_{УТП} \cdot K_{ТП} \\ U_{П} = E_{ТП} - I \cdot R_{П} \\ U_{П} = U_{Д} \\ U_{Д} = E_{Д} + I \cdot R_{Д} \\ E_{Д} = C \cdot \omega \end{cases}$$

решаем систему уравнений относительно тока:

$$I = \frac{K_{ТП} U_{РС} - C \omega}{K_{ОТ} K_{ДТ} K_{ТП} + R_{П} + R_{Д}}$$

$$I = \frac{88,278 \cdot 10 - 0,6799 \cdot \omega}{0,13 \cdot 0,06 \cdot 88,278 + 0,1535 + 0,16988}$$

или

$$I = 95 - 0,00672 \cdot \omega$$

Данные расчетов статических характеристик сводим в таблицу 12.

Таблица 12 - Результаты расчетов статических характеристик.

$\omega$ , рад/с	0	100	315,16
I, А	95	94,228	92,88

Электромеханические характеристики в статике приведены на рисунке 14.

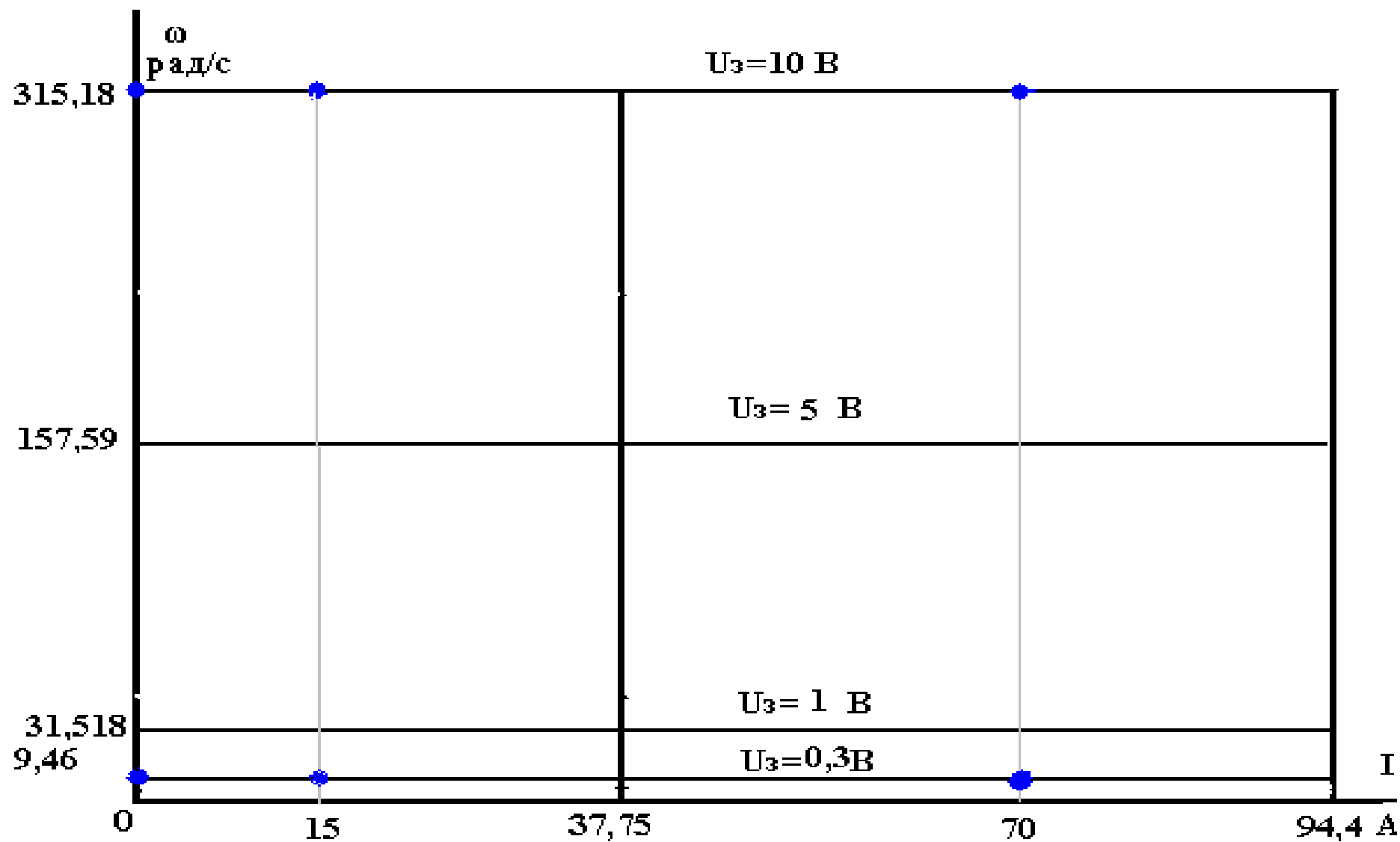


Рисунок 14 Электромеханические характеристики в статическом режиме.

Ожидаемые показатели качества переходных процессов в оптимизированной в т. 2 двухконтурной линеаризованной системы автоматического управления электропривода определяется следующим образом.

При обработке ступенчатого управляющего воздействия:

$\sigma=5$  – перерегулирование, %;

$t_{PV1}^{(5)} = 3,5 \cdot T_T = 3,5 \cdot 5,34 \cdot 10^{-3} = 0,0187$  - время первого вхождения в 5% зону, с;

$t_{PV2}^{(5)} = 3,5 \cdot T_T = 3,5 \cdot 5,34 \cdot 10^{-3} = 0,0187$  - время переходного процесса

(окончательного вхождения в 5% зону), с;

$\Delta\omega_{уст}=0$  – статическая ошибка по управлению, рад/с.

При обработке ступенчатого возмущающего воздействия:

$\Delta\omega_{ВМАКС} = 1,34 \cdot T_T \cdot \frac{\Delta M_c}{J_\omega} = 1,34 \cdot 5,34 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta M_c}{0,09844} = 0,0727 \cdot \Delta M_c$  - динамический

провал (всплеск) скорости вращения при набросе (сбросе) нагрузки  $\Delta M_c$ , рад/с;

$t_{PB} = 6,25 \cdot T_T = 0,0334$  - время восстановления скорости (окончательного

вхождения в зону  $0,05 \cdot \Delta\omega_{ВМАКС}$ ), с;

$\Delta\omega_{уст}=0$  – статическая ошибка по возмущению (нагрузке), рад/с.

## 2.4 ЛАЧХ оптимизированного контура САУ РЭП

Оценить пригодность привода с заданными характеристиками для целей автоматизации технологического процесса позволяет построение ЛЧХ оптимизированных контуров системы управлению по возмущению. Для построения ЛЧХ рассчитаем передаточные функции контуров и введём данные в программу Матлаб.

Передаточная функция замкнутого контура тока:

$$W_{PT(p)} = \frac{K_{III} \cdot \omega_p}{R_{яц} \cdot T_{яц} \cdot C^*} = \frac{88,278 \cdot 125,664}{0,47738 \cdot 0,0136 \cdot 0,7} = \frac{2440968}{0,00557p + 1}$$

Передаточная функция замкнутого контура скорости по возмущению:

$$W(p) = \frac{\frac{C \cdot T_T^2}{B \cdot J} p(T_T p + 1)}{\left[ \frac{T_T^2}{B} p^2 (T_T p + 1) \right] + (T_{PC} p + 1)} = \frac{\frac{0,7 \cdot (5,57 \cdot 10^{-3})^2}{0,2 \cdot 0,0879022} p(5,57 \cdot 10^{-3} p + 1)}{\left[ \frac{(5,57 \cdot 10^{-3})^2}{0,2} p^2 (5,57 \cdot 10^{-3} p + 1) \right] + (0,022934 p + 1)} = \frac{6,88 \cdot 10^{-6} p^2 + 1,235 \cdot 10^{-3} p}{8,64 \cdot 10^{-7} p^3 + 1,55 \cdot 10^{-4} p^2 + 0,022934 p + 1}$$

Передаточная функция замкнутого контура скорости с фильтром на входе РЭП

$$W_{\text{зсф}(p)} = \frac{\frac{1}{K_c} (T_1 p + 1)}{\left[ \frac{T_T^2}{B} p^2 (T_T p + 1) \right] + (T_{PC} p + 1)} = \frac{\frac{1}{0,032} (10,807 \cdot 10^{-3} p + 1)}{\left[ \frac{(5,57 \cdot 10^{-3})^2}{0,2} p^2 (5,57 \cdot 10^{-3} p + 1) \right] + (0,023 p + 1)} = \frac{0,338 p + 31,25}{8,64 \cdot 10^{-7} p^3 + 1,55 \cdot 10^{-4} p^2 + 0,023 p + 1}$$

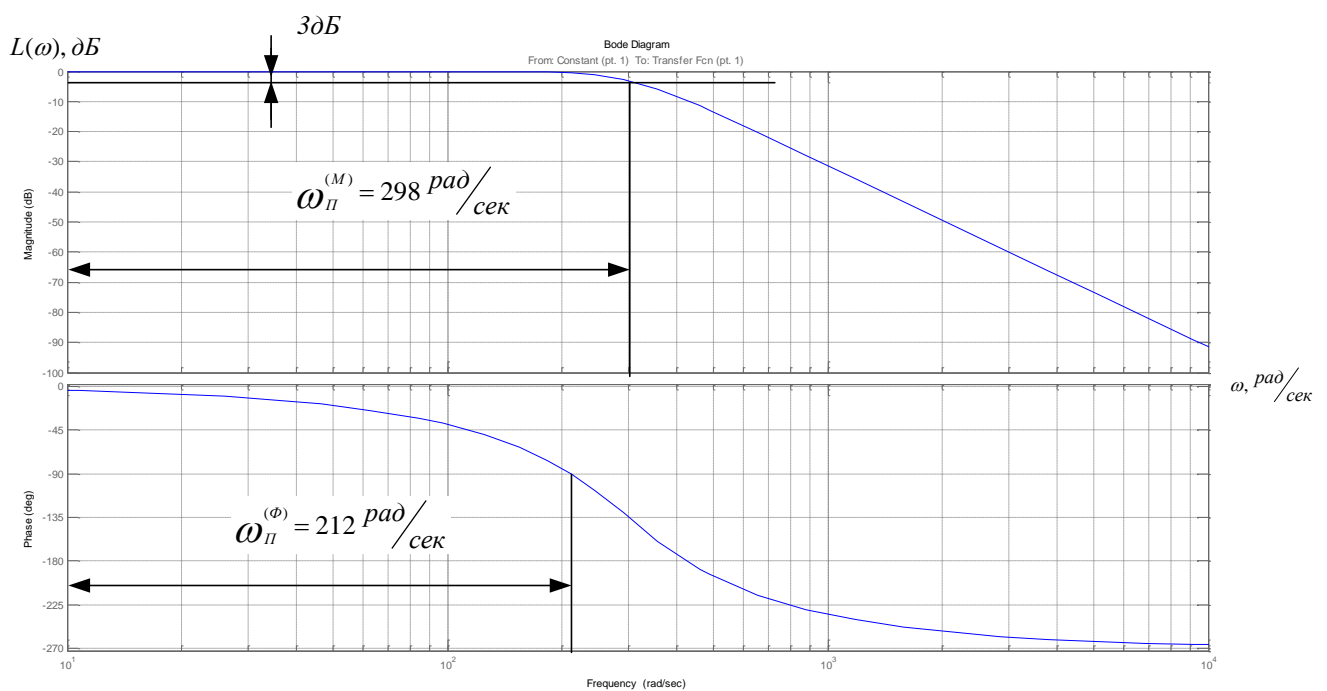


Рисунок 15 ЛАЧХ замкнутого контура скорости по управлению с фильтром на входе РЭП.

## 2.5 Анализ нелинейной САУ РЭП

Получение достоверных качественных и особенно количественных характеристик поведения реальной системы автоматизированного электропривода конкретного производственного механизма требует максимального учёта особенностей работы, как в целом ЭП, так и его отдельных элементов. В первую очередь это учёт особенностей тиристорного преобразователя (дискретное полууправляемое устройство с раздельным способом управления) и элементов системы ЭП с нелинейными характеристиками, параметров электрической и механической систем, зависящих от времени или других параметров (индуктивность силовой цепи, момент инерции и коэффициент жесткости механической системы, зависящие от положения рабочего органа) и т.п.

### 2.5.1 Структурная схема нелинейной САУ РЭП

Основными нелинейностями САУ электропривода, влияющими на работу системы при отработке средних и больших входных заданий являются:

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

На рисунке 16 приведена структурная схема нелинейной САУ электропривода.

Напряжение насыщения регуляторов принимаем на уровне 10В.

Ограничение тока электропривода осуществляется ограничением выходного напряжения регулятора РЭ на уровне

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

$$E_{\text{ТПmax}} = E_{d0} \cdot \cos\alpha_{\min} = 513 \cdot \cos 10 = 505\text{В.}$$



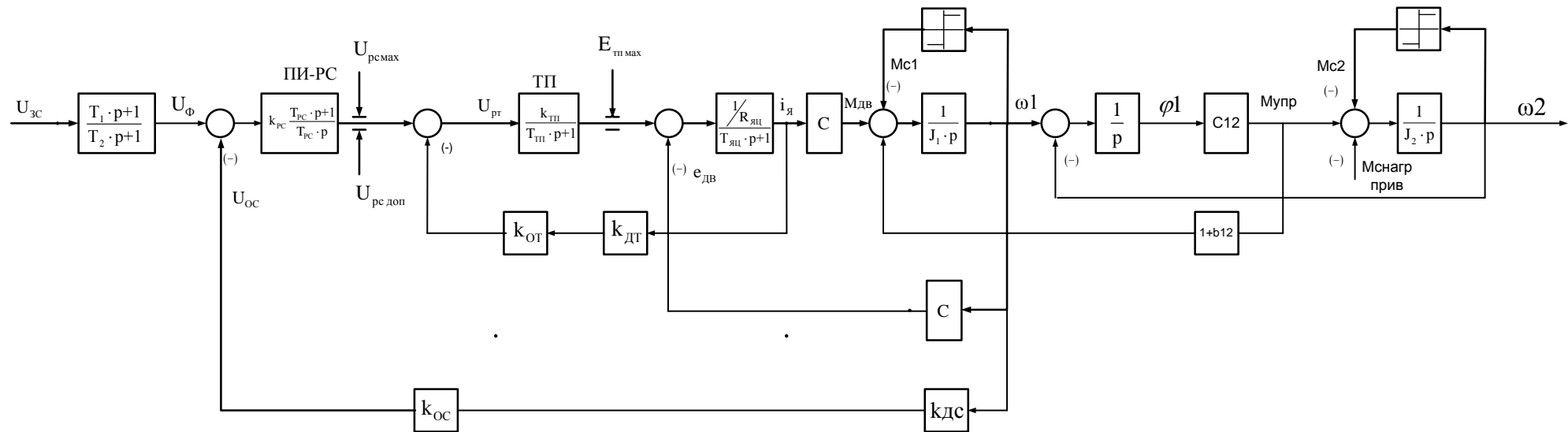


Рисунок 16 Структурная схема нелинейной двухмассовой САР РЭП.

## **2.5.2 Расчет и анализ динамических показателей привода**

Цель исследований – проверка работоспособности электропривода во всех основных технологических режимах работы.

Исследования сводились к проверке работы САУ электропривода в следующих режимах:

- пуск привода на максимальную скорость;
- пуск привода на минимальную скорость;
- пуск привода на максимальную скорость и реверс.

Имитационная модель составлена на основе структурной схемы рисунка 17.

Переходные процессы нелинейной САУ РЭП представлены на рисунках 18-20. Расчет переходных процессов выполняется на ЭВМ по программе Matlab.

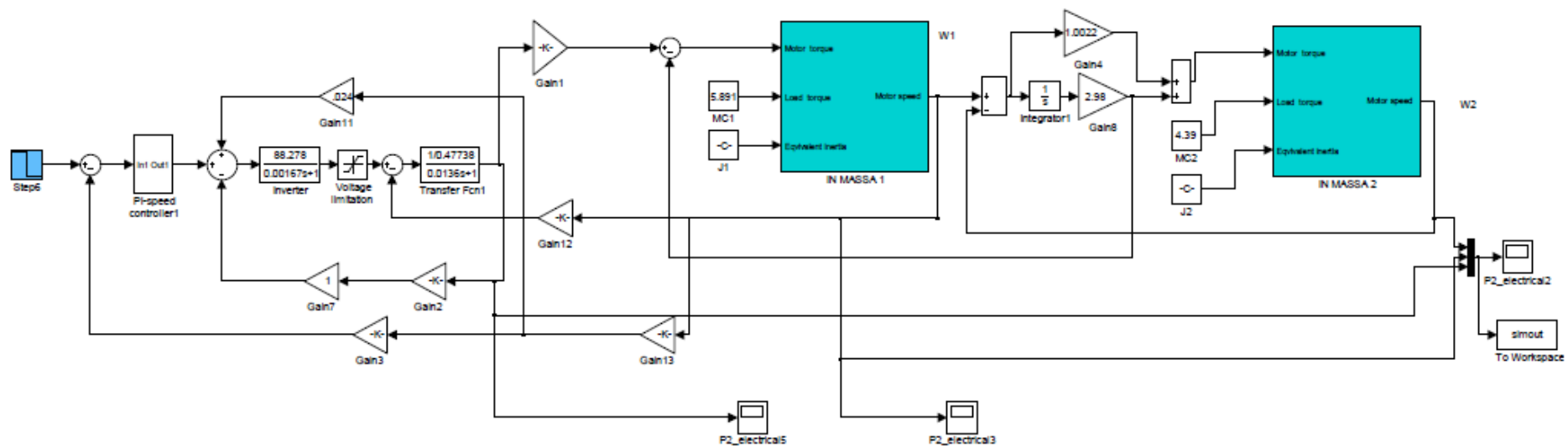


Рисунок 17 Схема имитационной модели в программной среде Matlab нелинейной двухмассовой САР РЭП.

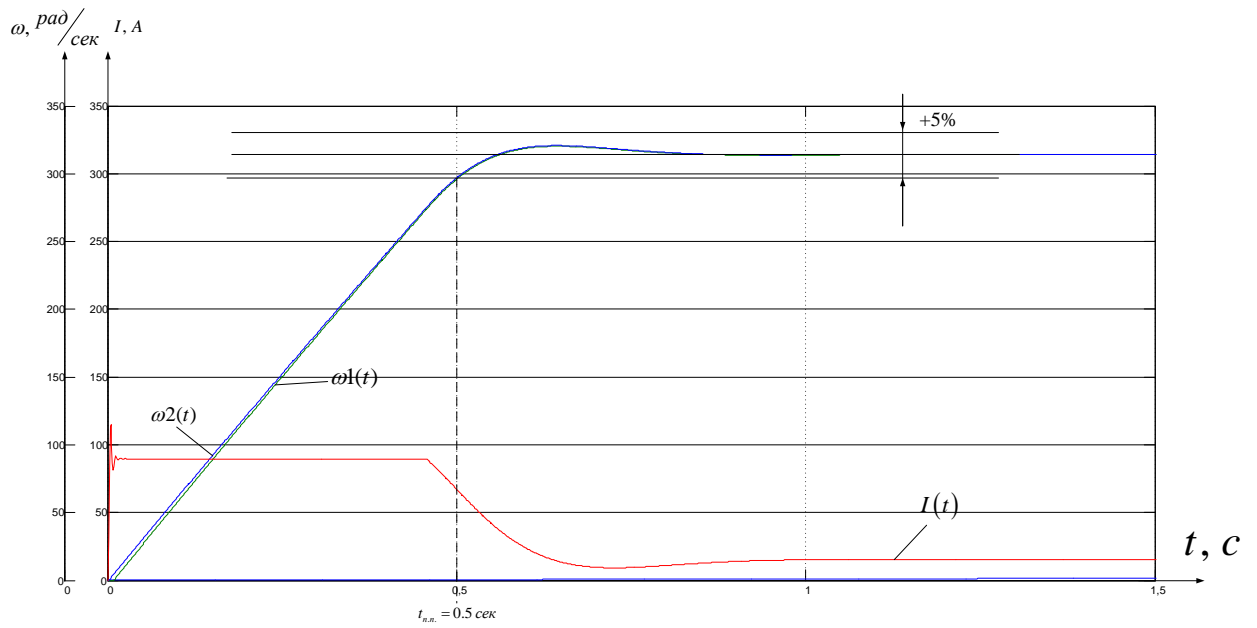


Рисунок 18 – Переходный процесс пуска на максимальную скорость

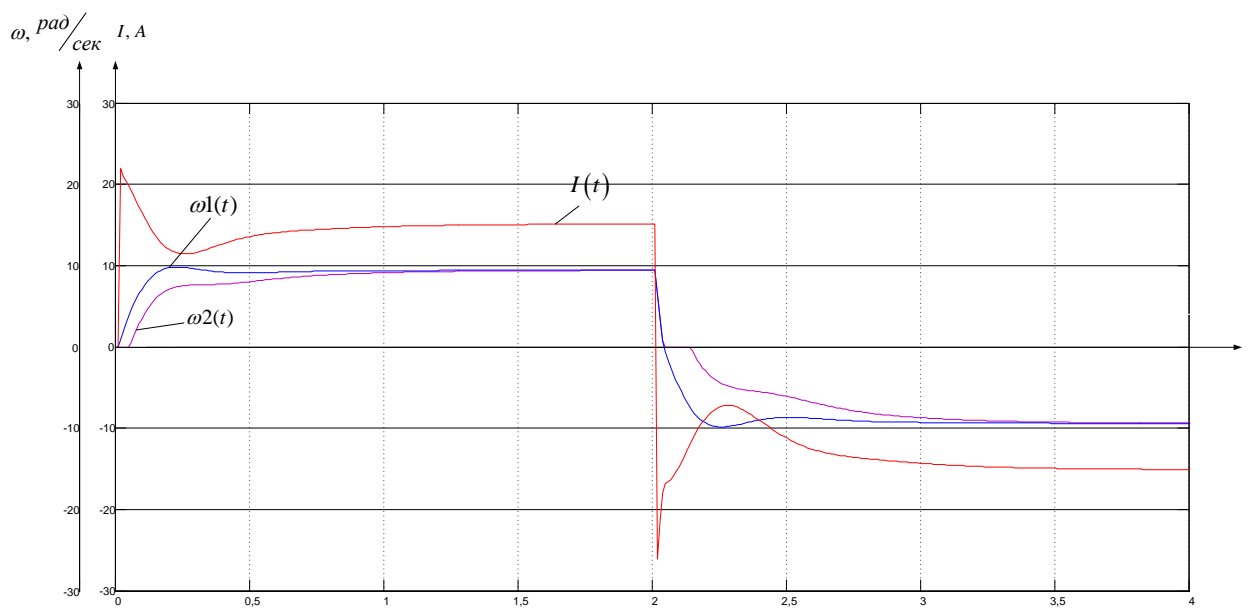


Рисунок 19 – Переходный процесс пуска на минимальную скорость

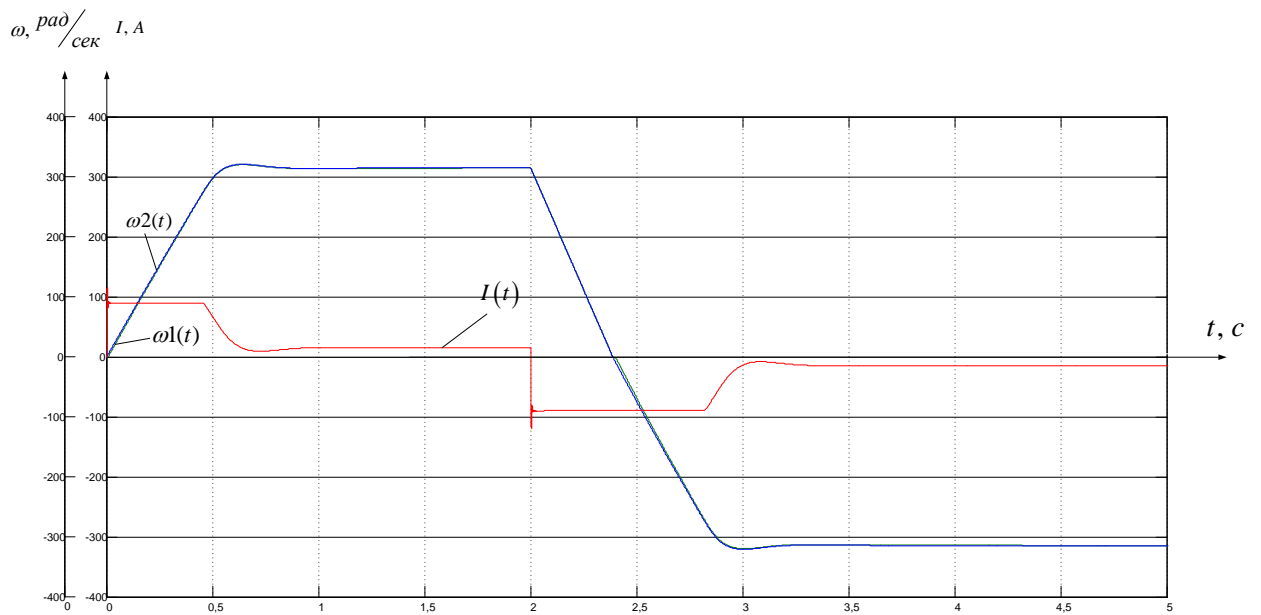


Рисунок 20 – Переходный процесс пуска и реверсана максимальной скорости.

В результате исследований установлено, что время переходных процессов скорости составляет 0,5с , перерегулирование не превышает 5%, что соответствует требованиям технического задания.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Топилов Аскарбек Абдужаббор угли

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): <i>материально-технических.</i>	"Положению об оплате труда ТПУ".
2. Продолжительность выполнения ТП	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 102 рабочих дня.

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

1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование графика работ по реализации ТП	При использовании графика работ по реализации ТП используется оценка трудоёмкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта.
3. Составление сметы ТП	При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям; - материальные затраты - полная заработная плата исполнителей - отчисления во внебюджетные страховые фонды - накладные расходы

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

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.02.2019.
--	-------------

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, отделение социально- гуманитарных наук	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Топилов Аскарбек Абдужаббор угли		

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

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Поставленная цель достигается выполнением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа работы перемещения индуктора закалочного станка в АГМК;
- Планирование технико-конструкторских работ;
- Определение ресурсной эффективности проекта.

#### **3.1 SWOT-анализ работы Электропривода перемещения индуктора закалочного станка в АГМК**

SWOT – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, которые помогают оценить возможности, угрозы сильных и слабых сторон.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT–анализ. Он проводится в несколько этапов.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл– слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Составление предварительной матрицы SWOT

	<b>Сильные стороны проекта</b> С1: Низкая цена элементов схемы С2: Высокая надёжность электропривода потребителей С3: Высокая эргономичность С4: Низкая материалоемкость С5: Высокая ремонтпригодность	<b>Слабые стороны проекта</b> Сл1. Надежность электропривода Сл2. Доступность токоведущих частей Сл3: Низкая безопасность Сл4: Низкая энергоэффективность
<b>Возможности</b> В1: Прокладка кабелей в эстакадах В2: Снижение расходов на используемое оборудование В3: Повышение стоимости конкурентных разработок В4: Растущая заинтересованность инвесторов	В1С1; С3; С5; В2С1; В3С1; В4С1;	В1Сл1; Сл2; Сл3;  В4Сл3; Сл4;
<b>Угрозы</b> У1: Значительное увеличение стоимости схемы У2: Повышение цен на компоненты системы У3: Усовершенствования конкурентных технических решений У4: Снижение спроса	У1С1 У2С1; С4;	У3Сл3; Сл4;  У4Сл2; Сл3; Сл4;

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие)

Результаты второго этапа SWOT-анализа представлены в таблице 14.



Таблица 14 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
В1	+	-	+	-	+
В2	+	-	-	-	-
В3	+	-	-	-	-
В4	+	-	-	-	-
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
В1	+	+	+	-	
В2	-	-	-	-	
В3	-	-	-	-	
В4	-	-	+	+	

Таблица 15 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
У1	+	-	-	-	-
У2	+	-	-	+	-
У3	-	-	-	-	-
У4	-	-	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
У1	-	-	-	-	
У2	-	-	-	-	
У3	-	-	+	+	
У4	-	+	+	+	

В результате проведения SWOT – анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны технического проекта:

- риск снижения спроса – одна из основных угроз проекта, которая коррелирует со всеми его слабыми сторонами;
- слабые стороны ликвидируемы за счет усовершенствования конструкции схемы;
- для минимизации угроз необходимо обратить внимание на недостатки данной конфигурации сети электропривода, а именно доступность токоведущих частей, низкая энергоэффективность и ремонтпригодность;
- кроме того, необходимо акцентировать внимание на сильные стороны проекта, такие как экономичность, надёжность и эргономика;

- прокладка кабелей в эстакадах – одно из наиболее весомых технических решений, относящихся к возможностям проекта, т.к. оно взаимосвязано с большинством сильных сторон;

- за счёт модификации схемы, а именно использования такого способа прокладки кабелей, как прокладка в эстакадах, можно скомпенсировать такие слабости, как доступность токоведущих частей и низкая безопасность;

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что прокладка в эстакадах позволит получить наибольшую отдачу от данного проекта. Благодаря прогрессирующим разработкам в области электроэнергетики и электротехники, совершенствованию конструкций аппаратуры и энергоэффективности материалов негативные факторы могут быть минимизированы.

## **3.2 Организация 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 проведения проектирования системы электропривода перемещения индуктора закалочного станка

### **3.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования**

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 16:

№ 1 – Ознакомление с производственной документацией – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к проекту, составление задания и плана на работу;

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

№ 3 – Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия – расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм;

№ 4 – Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН – выбор конфигурации схемы электропривода, расчет суммарных электрических нагрузок;

№ 5 – Выбор трансформаторов подстанций – выбор защитной аппаратуры, подбор трансформаторов согласно картограммы нагрузок;

№ 6 – Расчет внутризаводской сети предприятия – построение схемы внутризаводского электроснабжения с расчетом и нанесением картограммы нагрузок по заводу, построение схемы внутрицехового электроснабжения.

№ 7 – Моделирование электропривода перемещения индуктора закалочного станка – создать модель электропривода ремонтно-механического цеха инструментального завода с использованием профильных САПР.

№ 8 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 9 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 10 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№11 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 16 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Ознакомление с производственной документацией	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования завода	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Расчеты и проектирование системы электропривода перемещения индуктора закалочного станка	3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Дипломник, научный руководитель
	4	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Дипломник, научный руководитель
	5	Выбор трансформаторов подстанций	Дипломник, научный руководитель
	6	Расчет внутривзаводской сети предприятия	
	7	Моделирование электропривода перемещения индуктора закалочного станка	Дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	9	Составление пояснительной записки	Дипломник
	10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	11	Подготовка к защите ВКР	Дипломник, Научный руководитель

В результате определения структуры работ в рамках технического проекта было выявлено шесть основных этапов (разработка технического задания, выбор направления технического проектирование завода, расчеты и проектирование системы, электропривода перемещения индуктора закалочного станка обобщение и оценка результатов, оформление отчета по техническому проектированию, сдача выпускной квалификационной работы) и 11 работ.

### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

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

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:[10]

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы раб.-дн.;

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

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), раб.-дн.

### 3.3 Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 17 строим план-график проведения работа (таблица 18)

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в днях заняла 111 календарных и 102 рабочих дней. Из них:

100 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

10 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя.

Таблица 17 – Расчёт продолжительность работ чел.-дн.

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни					
		Минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i-ой работы		Максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i-ой работы		Ожидаемая трудоёмкость выполнения i-ой работы	
		Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	7		5
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	1	19	1	23	1	21
4	Построение картограммы нагрузок и определения ЦЭН	1	17	1	25	1	20
5	Выбор трансформаторов подстанций	1	14	1	21	1	17
6	Расчёт внутривзаводской сети предприятия	1	3	1	6	1	4
7	Моделирование системы электропривода перемещения индуктора закалочного станка	1	14	1	18	1	16
8	Оценка эффективности полученных результатов	1	6	1	8	1	7
9	Составление пояснительной записки	-	3	-	12	-	7
10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
11	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	1	2	3	4	2	3

Таблица 18 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнители	$T_{р\bar{b}}$ раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Ознакомление с производственной документацией	Руководитель	1	-												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	5	—												
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Руководитель	1			-										
		Дипломник	21	—	—	—										
4	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Руководитель	1					-								
		Дипломник	20			—	—	—								
5	Выбор трансформаторов подстанций	Руководитель	1							-						
		Дипломник	17					—	—	—						
6	Расчёт внутризаводской сети предприятия	Руководитель	1									-				
		Дипломник	4							—	—					
7	Моделирование работы управляемым электропривода сталевоза	Руководитель	1										-			
		Дипломник	16							—	—	—				
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1											-		
		Дипломник	7									—	—			
9	Составление пояснительной записки	Дипломник	7											—	—	
10	Проверка ВКР руководителем	Руководитель	1												-	
11	Подготовка к защите ВКР	Руководитель	2													-
		Дипломник	3													—



### 3.4 Расчёт затрат на осуществление технического проекта

Целью планирования себестоимости проведения технического проекта является экономически обоснованное определение величины затрат на его выполнение. Исходными данными для расчета затрат является план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- расходы на спецоборудование;
- накладные расходы.

#### 3.4.1 Расчет материальных затрат технического проекта

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:[10]

$$Z_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m \text{Ц}_i \cdot N_{\text{расх}i}$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении технического проекта;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$\text{Ц}_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

К материальным затратам можно отнести: бумага, ручка, корректор, USB-накопитель, блокнот, линейка, мульти фора .

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице 19.

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Зм), руб.
Бумага	Лист	150	2,5	375
Ручка	Шт.	1	60	60
USB накопитель	Шт.	1	335	335
Линейка	Шт.	1	85	85
Мульти фора	Шт.	10	2	20
Блокнот	Шт.	1	100	100
Корректор	Шт.	1	55	55
Итого:				1030

### 3.4.2 Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается полная заработная плата научного руководителя и студента, которая рассчитывается по формуле:[10]

$$Z_{п} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

где:  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле: [10]

$$Z_{осн} = T_p \cdot Z_{дн},$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [10]

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}}}{D_{\text{мес}}},$$

где:  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$D_{\text{мес}}$  – количество рабочих дней, раб. дн.

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	Зарплата месячная, руб	Средняя заработная плата работника руб.	Продолжитель ность работ, выполняемых работником, раб. дн.	Основная заработная плата одного работника, руб.
Руководитель	21760	28288	1088	10	10880
Бакалавр	12300	16000	615	100	61500
Итого $Z_{\text{осн}}$ , руб					72380

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают оплату при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:[10]

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где:  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы на стадии проектирования принимается равным 12–15%

Таблица 21 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	коэффициент дополнительной заработной платы. $k_{\text{доп}}$ , руб	Основная заработная плата одного работника, $Z_{\text{осн}}$ , руб.	Дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$ , руб.	Полная заработная плата $Z_{\text{п}}$ , руб.
Руководитель	15%	10880	1630	12500
Бакалавр	12%	61500	7380	68880
Итого: $Z_{\text{осн}}$ , руб		72380	9000	81380

### 3.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной разделе 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:[10]

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

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

В соответствии с Федеральным законом установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \times 81,3 = 24,5 \text{ тыс. руб}$$

#### **3.4.4 Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: амортизация активам, расходы, связанные с рекламой и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат на проектирование.

#### **3.4.5 Формирование сметы затрат технического проекта**

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

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Смета затрат технического проекта

Наименование разделы	Сумма, тыс. руб	Структура затрат, %
1. Материальные расходы	1,0	0,8
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей ТП	81,3	63,9
3. Отчисления во внебюджетные фонды	24,5	19,3
4. Накладные расходы	20,3	16,0
5. Итого	127,1	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 100 раб. дней для дипломника и 10 раб. дней для научный руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 127,1 тыс.руб, из которых более половины (64%) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

### 3.4.6 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле[10]:

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

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

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

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

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиями к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Эргономичность: оптимальная условия труда с целью увеличения производительности и сохранения сил, времени, энергии, работоспособность и здоровья человека;
2. Ремонтпригодность: долговечности и увеличения срок эксплуатации электроустановки;
3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97;
5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды;
6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам элеткроборудования на предприятии;
7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 23.

Таблица 23 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Эргономичность	0,13	5
2. Ремонтпригодность	0,16	5
3. Безопасность	0,14	4
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	4
5. Надежность	0,15	5
6.Простота и удобство в эксплуатации	0,09	4
7.Энергоэффективность	0,15	5

Итого:	1,00	
--------	------	--

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \cdot 0,13 + 5 \cdot 0,16 + 4 \cdot 0,14 + 4 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,09 + 5 \cdot 0,15 = 4,6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

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

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства площадки сбора руды путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г4Б2	Топилов Аскарбек Абдужаббор угли

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетиков (ИШЭ)</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>13.03.02 Электроэнергетика и электротехника</b>

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является: <i>Электроприводзакалочного станка.</i> Используется для производства закалочных работ под воздействием токов высокой частоты. А.О АГМК</p>
---	--

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

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b></p>	<p>Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность</b>                  2.1. Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.                  2,2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов</p>	<p>Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы при разработке и эксплуатации Закалочного станка оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности</li> <li>– поражения электрическим током</li> <li>– повышенный уровень шума и вибрации</li> <li>– неудовлетворительное освещение</li> <li>– неудовлетворительный микроклимат</li> <li>–</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>1) Анализ воздействия гидросферу;                  2) Образование отходов, связанных с заменой комплектующих разрабатываемого оборудования, образование золоотвалов</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> <p>Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p>



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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев Милий Всеволодович			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Топилов Аскарбек Абдужаббор угли		

## 4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью данной части выпускной квалификационной работы является выявление основных опасных и вредных производственных факторов при наладке Электропривод закалочного станка создание мероприятий по недопущению опасных факторов и уменьшение влияния вредных факторов производства.

Электропривод перемещения индуктора создан на базе комплектного электропривода постоянного тока типа ЭПУ1-2, питающегося от трехфазной сети переменного тока 380В, 50Гц. Электропривод находится в генераторной станции в непосредственной близости от станка. Питание к станку подается по кабельным туннелям.

Обслуживающий персонал поддерживает исправное состояние, безаварийную и надлежащую работу обслуживаемых устройств и электрооборудования.

- настройку, ремонт механического и электрооборудования.
- контроль работы основных и вспомогательных узлов станка в порядке текущей эксплуатации.

При пуско-наладочных работах для обслуживающего персонала опасность представляет не только электрооборудование станка, но и сам технологический процесс. Электрические установки, с которыми приходится иметь дело работающим на производстве, представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут определить ее наличие.

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

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

#### **4.2 Производственная безопасность объекта исследования**

Охрана труда представляет собой систему законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда. В нашей стране государство направляет средства на проведение мероприятий по охране здоровья трудящихся и в частности на обеспечение техники безопасности и производственной санитарии. Мероприятия, связанные с созданием безопасных условий труда осуществляются в плановом порядке.

В данном разделе рассмотрены следующие вопросы охраны труда: проанализированы условия труда с точки зрения наличия возможности появления вредных факторов и их воздействие на работающих, рассмотрены мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, а также мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте электромонтера.

#### **4.2.1 Анализ опасных и вредных факторов**

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме, острому отравлению или другому внезапному резкому ухудшению здоровья, или смерти. Вредный производственный фактор - производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях может привести к заболеванию, снижению работоспособности и (или) отрицательному влиянию на здоровье потомства. В зависимости от количественной характеристики (уровня, концентрации и др.) и продолжительности воздействия вредный производственный фактор может стать опасным.

При выполнении своих профессиональных обязанностей персонал электрического цеха может столкнуться со следующими опасными производственными факторами:

1. Опасные факторы:

- механические травмы;
- поражения электрическим током;
- пожаровзрывоопасность

2. Вредные факторы:

- неудовлетворительное освещение
- шум;
- вибрации;

- неудовлетворительный микроклимат

Термические опасности.

Рабочее место пайки должно быть оборудовано местной вытяжкой вентиляции, обеспечивающей концентрацию свинца в рабочей зоне не превышающую предельно-допустимой - 0.01 мг/м<sup>3</sup>.

Механические травмы

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, постоянным надзором за работающими со стороны производителя работ и соблюдением рабочими техники безопасности и регламентируются «Межотраслевыми правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок» ПОТРМ-016-2001; РД 153 -34,0-03,150-00.

В рассматриваемом цехе большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество оборудования. При необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала - предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация.

Вывод: Что надо быть осторожен при выполнении производственный процесс соблюдать требование установленном предприятия который установил по своим техническим требованиям соблюдать технику безопасности

Электробезопасность:

Гигиеническое нормирование ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [14] устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при нормальном режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, Правила устройства электроустановок [15] и Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н «Об утверждении Правил по охране

труда при эксплуатации электроустановок” (вступил в силу 4 августа 2014 года).

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый электрический цех относится к помещению с повышенной опасностью, так как в цехе расположена трансформаторная подстанция. В цехе отсутствует токопроводящая пыль и повышенная влажность, но есть возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям здания, имеющего соединение с землей, технологическим аппаратам и механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой.

1. Для работы с электроустановками выше 1000 В применяются:

а) Основные защитные средства:

- изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, устройства и приспособления для ремонтных работ;

- изолирующие устройства и приспособления для работ на ВЛ с непосредственным прикосновением электромонтера к токоведущим частям (изолирующие лестницы, площадки, изолирующие тяги, канаты, корзины телескопических вышек, кабины для работы у провода и др.

б) Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические перчатки;

- диэлектрические боты;

- диэлектрические ковры;

- индивидуальные экранирующие комплекты;

- изолирующие подставки и накладки;

- диэлектрические колпаки;

- переносные заземления;

- оградительные устройства;

- плакаты и знаки безопасности.

2. Для работы с электроустановками ниже 1000 В применяются

а) Основные защитные средства:

- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками.

б) Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- переносные заземления;
- изолирующие подставки и накладки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

Конструкция электроустановок должна соответствовать условиям их эксплуатации и обеспечивать защиту персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями, а оборудования- от попадания в внутрь посторонних тел и воды.

В соответствии с классификацией помещений по степени опасности поражения людей электрическим током, Кузнечно-термический цех, в котором расположен станок с проектируемым приводом, относится, относится к особо опасным помещениям. Проектируемый привод является электроустановкой до 1000 В для II -группы, а работы, связанные с ремонтом и обслуживанием этого электропривода не исключают как возможности поражения электрическим током персонала, так и возможности получения механической травмы. Поэтому соблюдение правил техники безопасности при работе с электроприводом и станком является важнейшей обязанностью, как самого обслуживающего персонала, так и лиц, организующих эти работы.

С целью обеспечения безопасности при наладке и ремонте станка выделяют организационные и технические мероприятия.

К организационным мероприятиям относятся:

Оформление работы нарядом или распоряжением;

Допуск к работе;

Надзор во время работы;

Оформление перерыва в работе, перевода на другое рабочее место, окончания работы.

К техническим мероприятиям относятся:

Производство необходимых отключений и принятие мер, препятствующих подачи напряжения к месту работы в следствии ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры;

Вывешивание плакатов: «не включать - работают люди», «не включать работа на линии», «не открывать - работают люди» и при необходимости установка ограждений;

Присоединение к «земле» переносных заземлений. Проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях, на которые должно быть наложено заземление;

Наложение заземлений;

Ограждение рабочего места и вывешивание плакатов: «не влезай – убьет», «работать здесь». При необходимости произвести ограждение оставшихся под напряжением токоведущих частей.

Наиболее распространенным техническим средством защиты от поражения электрическим током является защитное заземление.

Заземление какой – либо части электроустановки преднамеренное электрическое соединение этой части с заземляющим устройством.



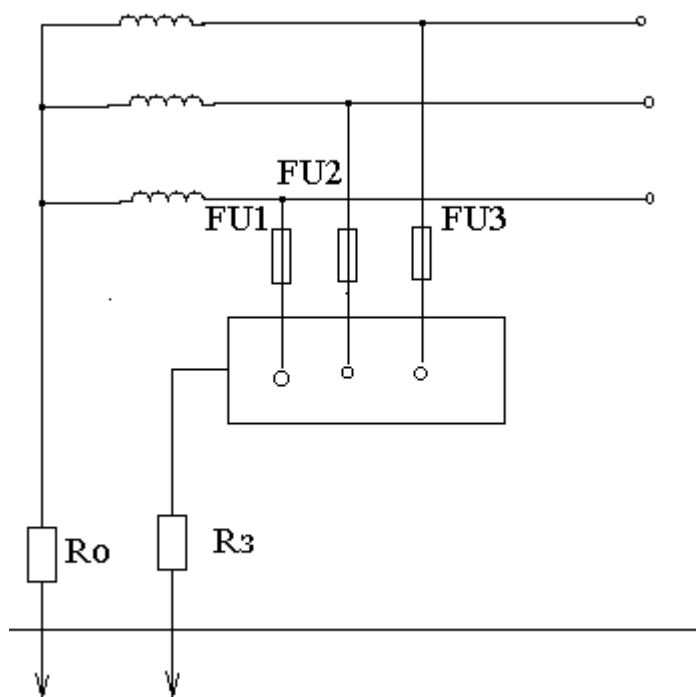


Рисунок 22 - Схема защитного заземления

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников. Схема защитного заземления представлена на рисунке 22.

FU1 – FU3 – плавкие предохранители

$R_0$ ,  $R_3$  – сопротивления рабочего и защитного заземления.

Определим удельное электрическое сопротивление грунта в зоне размещения заземления:

$$f = f_T \cdot K_{св}, \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

где –  $f_T = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  – удельное сопротивление грунта (суглинка);

$K_{св} = 1,3$ ,  $K_{сг} = 2,5$  – коэффициент сезонности для вертикального и горизонтального электродов.

$$f_{в} = 100 \cdot 1,3 = 130 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

$$f_{г} = 100 \cdot 2,5 = 250 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Выбираем нормативное сопротивление заземления для установок до 1000В.

$$R_{н} = 4 \text{ Ом}$$

Определяем сопротивление растеканию тока, заземлителем для вертикального стержня  $d = 0.06 \text{ м}$ , заглубленного в грунт на 3м.

$$R_e = 3 \frac{P}{2\pi} \ln \left( 4 \frac{l}{d} \right) = 3 \frac{130}{2\pi} \ln \left[ 4 \frac{3}{0.06} \right] = 36.54 \text{ Ом.}$$

Определяем допустимое сопротивление искусственного заземлителя;

$$R_{ннд0} = \frac{R_e \cdot R_n}{R_e - R_n} = \frac{36,54 \cdot 4}{36,54 - 4} = 4,5 \text{ Ом}$$

Выбираем тип заземляющего устройства: электроды расположены по контуру цеха.

$$R_3 = \frac{f_B}{2 \pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right), \text{ Ом.}$$

Определяем сопротивление одиночного вертикального электрода:

$$R_3 = 34,48 \text{ Ом.}$$

Определяем результирующее сопротивление искусственного заземления:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_3 \cdot N}{(R_3 \cdot \eta_n + N \cdot \eta_3)} = \frac{34,48 \cdot 8}{(34,48 \cdot 0,64 + 8 \cdot 0,86)} = 4,45 \text{ Ом.}$$

Где  $\eta_n = 0,64$  - коэффициент использования горизонтальной полосы.

Определим общее сопротивление всего заземляющего устройства:

$$R_3 = \frac{R_e \cdot R_n}{R_e - R_n} = \frac{36,54 \cdot 4,45}{36,54 + 4,45} = 3,97 \text{ Ом.}$$

$R_3 = 3,97 \text{ Ом.}$  Удовлетворяет требованиям ПУЭ.

**Вывод:** Соблюдать ПУЭ Правила устройства электроустановок потребителей. Электромонтер должен иметь минимум 3 группу электробезопасности, чтобы ремонтировать электроустановки до 1000В. Электропривод должен быть заземленным это защищает от поражения электрическим током. Поражение электрическим током создает опасность для жизни человека и может привести к электротравме несовместимой с жизнью.

Шум и виброакустические вредные факторы

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием, ГОСТ 12.1.012 – 2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» [20], Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Вибрацию в рассматриваемом цехе можно наблюдать при работе большинства оборудования. Для снижения уровня вибрации производится тщательное наблюдение за узлами оборудования, и, в случае необходимости, настройка оборудования и замена изношенных частей установок.

### Шум

Шум наносит большой ущерб, вредно действует на организм человека и снижает производительность труда. Утомление рабочих из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению травм.

При нормирование шума используют два метода: нормирование по предельному спектру шума, нормирование уровня звука. Таким образом, шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значение которых приведены в ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности». Поэтому для рабочих мест цеха допустимый уровень звукового давления в активной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц есть 80 дБ, а допустимый эквивалентный уровень звука 85 дБА. При данном производственном процессе уровень шумов не выходит за нормативы.[СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011]

Основным источником шума на подстанции является трансформатор. Шум, создаваемый трансформатором, в пределах допустимых значение. Дополнительные средства защиты не предусмотрены.

Шум в рассматриваемом цехе может возникать только при использовании некоторых видов оборудования, поэтому применяются индивидуальные средства защиты от шума, а так же звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций с инженерными конструкциями и

укрытия в кожухи источников шума. В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

#### Освещение

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам, предусмотренным СП.52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Для безопасного продолжения работы, или выхода людей из помещений при внезапном отключении должно быть предусмотрено аварийное освещение. Длительное снижение напряжения у наиболее удаленной лампы не должно быть более 5%. Питание аварийного освещения должно быть надежным и от независимого источника. Для аварийного освещения должны применяться светильники, отличающиеся от светильников рабочего освещения типом или размером, или на них должны быть нанесены специальные знаки.

На электрическом цехе предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. При этом аварийное освещение представляет около 10% от общего освещения.

В цехе предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. Норма освещенности для рассматриваемого цеха приведена в таблице 24.

Таблица 24 – Норма освещенности для рассматриваемого цеха

Разряд зрительной работы	Характеристика	Подразряд	Наименьший объект различения, мм	Освещённость (комбинированная система), Лк	Освещённость (общая система), Лк
IV	Средней точности	в	0,5-1,0	400	200

Вдоль всех главных коридоров, лестничным клеткам и над пожарным краном, предусмотрены эвакуационные светильники показывающие выход. Данные светильники оборудованы аккумуляторными батареями и приборами

автоматики, так что при исчезновении напряжения в сети, автоматически включаются с помощью собственного источника питания.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В. Светильники подключаются с помощью штепсельной розетки, которая размещена в отдельном корпусе вместе с трансформатором 220/36В.[СП52.13330.2016]

#### Микроклимат

В обеспечении условий высоко производственного труда научно-технического персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма.

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьми часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Для рассматриваемого электрического цеха установлены допустимые величины показателей микроклимата. Используется кондиционирование воздуха и отопление. Устройства систем вентиляции используются круглогодично. Теплозащитные экраны применяются по необходимости, в основном в теплый период.

Таблица 25 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственного помещения

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, Ф%	Скорость движения воздуха, м/с
-------------	-----------------	-------------------------	------------------------------	-----------------------------	--------------------------------

		Диапазон ниже оптимальных величин $t_{\text{опт}}$				Если $t^{\circ} < t^{\circ}_{\text{опт}}$	Если $t^{\circ} > t^{\circ}_{\text{опт}}$
Холодный	Па	17,0 - 18,9	21,1 - 23,0	16,0 - 24,0	15 - 75	0,1	0,3
Теплый	Па	18,0 - 19,9	22,1 - 27,0	17,0 - 28,0	15 - 75	0,1	0,4

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьми часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины. Таблица 26 – Оптимальные нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственного помещения

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, φ%	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Па	19,0-21,0	18,0 - 22,0	60 - 40	0,2
Теплый	Па	20,0-22,0	19,0 - 23,0	60 - 40	0,2

Для рассматриваемого объекта установлены оптимальные величины показателей микроклимата. Для холодного периода года используется кондиционирование воздуха и отопление. Устройства систем вентиляции используются круглогодично. Теплозащитные экраны применяются по необходимости, в основном в теплый период.

#### Вредные вещества

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [17] вредные вещества разделяют на 4 класса опасности:

В рассматриваемом цехе используются умеренно опасные (ПДК = 1,10 мг/м<sup>3</sup>) вредные вещества (бензин, азотная и соляная кислоты) Основной мерой

борьбы с вредными веществами является применение системы вентилирования.

#### Производственная вентиляция

Нормы производственной вентиляции установлены согласно СНиП 2.04.05-91 [19].

На рабочем месте предусматривается искусственная приточно-вытяжная общеобменная вентиляция с расходом воздуха на одного работающего не менее 60 м<sup>3</sup>/ч.

Воздух, поступающий в помещение в зимнее время, подогревается на входе тепловыми завесами, а охлаждается с помощью приточно-вытяжной вентиляции. Механическая вентиляция обеспечивает очистку выбрасываемого наружу воздуха, что очень важно для воздушной среды окружающей предприятие.

### **4.3 Экологическая безопасность**

Влияние электрических сетей на окружающую среду определяется воздействием электрического поля, использованием земельных ресурсов, нарушением природных ландшафтов.

Для исключения влияния на окружающую среду возможных разливов трансформаторного масла при авариях с маслонаполненным оборудованием, на подстанциях предусматриваются маслоприемники, аварийные маслостоки и закрытые маслосборники, в которые также могут поступать воды из маслоприемников содержащие следы масла.

Мероприятия по охране природы регламентируются ГОСТ 17.0.001-86 (Основные положения) [28], ГОСТ 17.2.1.01-86 (Атмосфера) [29] и ГОСТ 17.11.02-86 (Гидросфера) [30].

Для работающих на промышленных предприятиях, непосредственной окружающей средой является воздух рабочей зоны.

Охрана окружающей среды на предприятии предусматривает мероприятия, предотвращающие загрязнение воздушного бассейна. С этой целью загрязненный воздух, удаляемый из производственных помещений, пропускается через специальные очистительные фильтрующие и обезвреживающие устройства, которые обеспечивает вытяжному воздуху то же качество, что и на входе.

В самом процессе производства не образуются сточные воды. Сточные воды появляются в результате мойки оборудования и текущей уборки и специальными сливами отводятся в технологическую канализационную сеть. Предварительная обработка этой воды перед выливанием в общие сети достигается отведением в бассейн для нейтрализации.

Твердые отходы, к которым относятся первичная упаковка сырья, отработавшие фильтры, и т.д. сжигаются в собственных устройствах. Если правила допускают, эти отходы выносятся на свалки. Твердые отходы, которые представляет вторичная упаковка, можно сортировать и отправлять на переработку на картонажно-бумажные фабрики.

Также для поддержания экологического равновесия в природе, на заводе проводятся мероприятия по озеленению территории предприятия.

#### **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;



2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Так как объект исследований представляет из себя математическую модель, работающий в программном приложении, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории с серверным оборудованием. В серверной комнате применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. К примеру, замыкание электропроводки - в большинстве случаев тоже человеческий фактор.

Перечень возможных ЧС на объекте: авария, пожар, террористический акт.

Опасными событиями, которые могут оказать влияние на безопасность обслуживающего персонала это пожары и аварии на электрооборудовании. Характер объекта не предполагает хранение, обращение и использование взрывчатых веществ, легковоспламеняющихся, ядовитых и радиоактивных веществ и материалов.

Проектом соблюдены требования пожарной безопасности в соответствии со СНиП 21.01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»:

- расположение эвакуационных выходов соответствует нормам;
- отделочные материалы имеют необходимый предел

огнестойкости. Класс ответственности сооружения –II.

Степень огнестойкости - III

Ограждающие и несущие конструкции ДЭС выполнены не ниже II степени огнестойкости.

Сечение проводов и кабелей выбрано с учетом токовых нагрузок

согласно ПУЭ. Выбор кабелей и проводов, а также способ прокладки соответствует условиям окружающей среды и конструкции сооружения.

Автоматические выключатели предусматриваются согласно расчетных токов.

Все электрооборудование выбрано согласно среды и характеристики помещения в соответствии с номинальным напряжением сети и рабочему току.

Принятое проектом электрооборудование имеет сертификат пожарной безопасности. Заземление и защитные нормы безопасности выполнены в соответствии с ПУЭ.

Пожаротушение предусматривается от существующей сети водопровода из пожарных гидрантов.

Проектом предусмотрены следующие мероприятия по пожарной безопасности:

- у бытовых помещений установить щиты с противопожарным инвентарем, ящиком с песком, бочки с водой.

В случае возникновения пожара, лица уполномоченные владеть, пользоваться или распоряжаться имуществом, руководители и должностные лица организаций, лица, в установленном порядке назначенные ответственными за обеспечение пожарной безопасности, по прибытии к месту пожара должны:

- сообщить о возникновении пожара в пожарную охрану, поставить в известность руководство и дежурные службы объектов;

- в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение, используя для этого имеющиеся силы и средства;

- проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты (оповещение людей о пожаре, пожаротушения, противодымной защиты);

- при необходимости отключить электроэнергию (за исключением систем противопожарной защиты), остановить работу транспортирующих устройств, агрегатов, аппаратов, перекрыть сырьевые, газовые, паровые и водяные коммуникации, остановить работу систем вентиляции в аварийном и смежном с ним помещениях, выполнить другие мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара и задымления помещений здания;

- прекратить все работы, кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;

- осуществить общее руководство по тушению пожара (с учетом специфических особенностей объекта) до прибытия подразделения пожарной охраны;

- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;

- одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей;

- организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;

- сообщать подразделениям пожарной охраны, привлекаемым для тушения пожаров и проведения, связанных с ними, первоочередных аварийно-спасательных работ, сведения о перерабатываемых или хранящихся на объекте опасных (взрывоопасных), взрывчатых, ядовитых сильнодействующих веществах, необходимые для обеспечения безопасности личного состава.

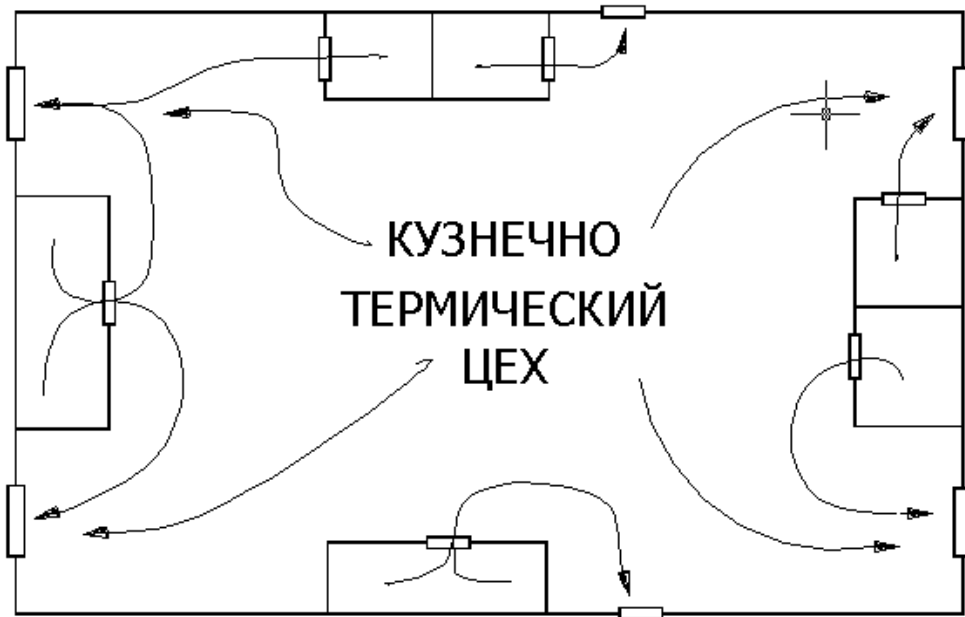


Рисунок 23 – План эвакуации Кузнечно-термического цеха при пожаре.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование и разработка электропривода перемещения индуктора вертикального закалочного станка Кузнечно – термического цеха ОАО "ЕВРАЗ".

В результате выполненной выпускной квалификационной работы спроектирован электропривод, полностью отвечающий требованиям технического задания. Так, электромеханические характеристики электропривода, ограниченные значениями  $\omega = \omega_{\text{макс}}$  и  $I = I_{\text{доп}}$ , удовлетворяют номинальным значениям области существования характеристик проектируемой системы преобразователь—двигатель.

Статические характеристики привода, при настройке на ПИ—регулятор скорости при минимальной скорости имеют наибольшую погрешность и удовлетворяют заданным условиям,  $\Delta\omega = 2,18\%$ .

При исследовании переходных процессов, динамические показатели качества САУ РЭП во всём диапазоне регулирования скорости, полностью удовлетворяют требованиям технического задания. Время пуска электропривода до максимальной рабочей скорости составляет: при номинальной нагрузке двухмассовой механической системе  $t_{\text{п}} = 0,46\text{с}$ , при перерегулировании  $\delta = 0\%$ . Время реверсирования электропривода с максимальной скорости  $t_{\text{р}} = 0,79\text{с}$ . Время восстановления скорости при набросе и сбросе нагрузки, при минимальном задании, не превышает  $0,0022\text{с}$ .

Электропривод перемещения индуктора, кроме того, снабжён системой защит и сигнализации, обеспечивающей безопасную и безаварийную работу.

В результате выполнения поставленных задач в разделе «Финансовый менеджмент», можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический

проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

В разделе «Социальная ответственность» освещены вопросы: промышленной безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды.

## **Список использованных источников.**

1. Машины и агрегаты металлургических заводов.,1978.
2. Фотиев М.М. Электропривод и электрооборудование металлургических цехов. М.: Металлургия, 1990.
3. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982.
4. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: Высшая школа, 1997.
5. Перельмутер В.М. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977.
7. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: Учебное пособие по курсовому проектированию. Томск, 1991.
8. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам. М.: Энергоатомиздат, 1988.
9. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 3. –Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2004. – 152 с.
10. ФИНАСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Издательство Томского политехнического университета 2014, 36 стр.
11. СНИП 12.1.005.-88 Санитарные нормы промышленных предприятий.
12. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

13. Елгазин В.И. Расчет искусственного освещения.: Томск, 1971.
14. СНИП 2.04.03.-85 Канализация. Наружные сети и сооружения.
15. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 4. – Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 152 с.
16. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. –Применение программы DORA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с.
- 17.Справочник по электрическим машинам в 2т. Под общей редакцией И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т1. – М: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.: ил.
- 18.Электроприводы унифицированные трёхфазные серии ЭПУ1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИГРФ.654674.001 ТО 1984.
- 19, Булычев А. Л., Галкин В. И., Прохоренко В. А. Аналоговые интегральные микросхемы. Справочник. – Минск: Беларусь, 1993. – 382 с.