

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>Регулируемый электропривод приемного рольганга</b>

УДК 621.867.63-83-523

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Попова Ольга Николаевна		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

**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
Р 1	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> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	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.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	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.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	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> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	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 Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

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)

Студентке:

Группа	ФИО
3-5Г4Б1	Поповой Ольге Николаевне

Тема работы:

<b>Регулируемый электропривод приемного рольганга</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

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

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Заключение
------------

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2019г..
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	к.т.н.		05.04.2019г.

**Задание приняла к исполнению студентка:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Попова Ольга Николаевна		05.04.2019г..

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:	31.05.2019г.
--	--------------

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	Гусев Н.В.	К.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ**

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

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа содержит 124 страниц, 22 рисунков, 23 таблиц, 30 источника.

**ЭЛЕКТРОПРИВОД, РОЛЬГАНГ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ОПТИМИЗАЦИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.**

В работе произведен расчет электропривода приемного рольганга.

В проектно-пояснительной части описан технологический процесс участка и представлена кинематическая схема. При этом произведены оценка и анализ вариантов исполнения, обоснованы функциональные схемы РЭП и системы управления.

В проектно-расчетной части произведен расчет и выбор силового оборудования, расчет регулировочных характеристик реверсивного преобразователя. Изложена методика синтеза линеаризированной САУ РЭП. Построены статические характеристики РЭП и ЛЧХ оптимизированных контуров САУ РЭП. Для нелинейной САУ РЭП преобразователя непрерывного и дискретного построены переходные процессы с помощью ЭВМ для различных режимов работы электропривода.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	9
1. ПРОЕКТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....	12
1.1 Технологический процесс участка .....	12
1.2 Кинематическая схема механизма приёмного рольганга .....	16
1.3 Оценка и анализ вариантов исполнения электропривода приёмного рольганга .....	19
1.4 Обоснование функциональной схемы РЭП и выбор ее основных элементов .....	21
1.4.1 Функциональная схема электропривода.....	21
1.4.2 Функциональная схема преобразовательной части электропривода .....	24
2. ПРОЕКТНО - РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.....	26
2.1 Выбор электрооборудования, расчет параметров и характеристик элементов силовой цепи .....	26
2.1.1 Выбор электродвигателя .....	26
2.1.2 Выбор комплектного регулируемого электропривода и силовых элементов входящих в него.....	34
2.1.3 Расчет параметров силовой цепи.....	41
2.1.4 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода .....	42
2.2 Расчёт электромеханических характеристик системы УВ-Д .....	45
2.3 Структурная схема силового канала САУ .....	49
2.4 Синтез линеаризованных структур САУ РЭП.....	50
2.4.1 Методика синтеза линеаризованных структур САУ РЭП.....	50
2.4.2 Линеаризованная структура САУ РЭП.....	51
2.5 Настройки контуров САУ электропривода.....	54
2.6 Расчет статических характеристик РЭП и погрешности скорости при изменении нагрузки .....	62
2.7 Структурная схема нелинейной САУ РЭП .....	66
2.8 Расчет переходных процессов .....	70

2.9. СИСТЕМА ЗАЩИТ И СИГНАЛИЗАЦИИ .....	73
ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» .....	75
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	76
3.1 SWOT-анализ электропривода приемного рольганга .....	76
3.2 Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта.....	80
3.2.1 Определение трудоемкости выполнения ТП .....	82
3.2.2 Разработка графика проведения технического проекта.....	83
3.3 Расчёт затрат на осуществление технического проекта .....	84
3.3.1 Расчет материальных затрат .....	86
3.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы .....	86
3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	88
3.3.4 Накладные расходы.....	89
3.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта .....	89
3.3.6. Определение ресурсоэффективности проекта .....	90
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	93
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	95
Введение.....	95
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	95
4.2 Производственная безопасность.....	97
4.2.1 Анализ вредных производственных факторов.....	97
4.2.2 Анализ основных опасных факторов .....	102
4.3 Экологическая безопасность.....	106
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	115
Приложение А. ....	119

## **ВВЕДЕНИЕ**

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

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

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

Современный прокатный стан характеризуется высоким уровнем производительности, механизацией трудоемких работ и автоматизацией основных технологических процессов. Рост производительности прокатных станов и вспомогательных механизмов, повышение качества продукции, достижение высоких скоростей прокатки и интенсификация обжатия стали возможными в результате развития и широкого внедрения в прокатное производство современных систем электропривода и автоматики. Современные прокатные станы и механизмы представляют пример тесной взаимосвязи элементов конструкций, технологического процесса и автоматизированного электропривода.

Кроме основной операции на прокатном стане производится целый ряд вспомогательных операций, без которых невозможна прокатка металла.

В современных механизированных прокатных станах с поточным технологическим процессом обработки металла рольганги являются одним из наиболее распространенных вспомогательных механизмов, от которых в

большой степени зависит производительность и бесперебойная работа прокатного стана в целом. Производительность прокатного стана может оказаться невысокой, если хотя бы один из его механизмов не в состоянии выполнить соответствующее количество операций в заданное время.

Рольганг -(нем. Rollgang)- конвейер, по которому груз перемещается по роликам под действием силы тяжести самих грузов; применяется для перемещения штучных грузов.

Для транспортирования прокатываемого металла к прокатному стану, задачи металла в валки, приема его из валков и передвижения к вспомогательным машинам(ножницам, правильным машинам, машине огневой зачистке и т.п.) служат рольганги.

Общая длина рольгангов весьма значительна, а вес их достигает 40-60% от общего веса оборудования стана. Конструкция рольгангов, их вес и стоимость, также как и эксплуатационные показатели работы, тесно связаны с типом электропривода, к выбору которого следует подходить весьма тщательно с учетом их назначения и всех возможных режимов работы в данной технологической линии.

Рольганги выполняются с групповым или индивидуальным приводом. При индивидуальном приводе каждый ролик данной секции рольганга приводится от отдельного электродвигателя. При групповом электроприводе секция рольганга, состоящая из 3-10, а иногда и более роликов имеет общий электропривод от одного электродвигателя. Групповой электропривод применяется для рольгангов, работающих в тяжелом режиме, с частыми пусками или реверсами (например, для рабочих и приемных рольгангов обжимных клетей). Для этих станов начальная длина слитка и длина раската в первых проходах близки к величине шага рольганга, вследствие чего на один ролик приходится почти весь вес прокатываемого металла. Это делает необходимым применение группового электропривода, имеющего по сравнению с индивидуальным на много меньшую установленную мощность электродвигателей и меньшую себестоимость.

По своему назначению рольганги разделяют на рабочие и транспортные. Рабочими называют рольганги, расположенные непосредственно у рабочей клетки и служащие для задачи металла в валки и приема его из валков. Транспортными называют все остальные рольганги, установленные перед рабочей клетью и за ней и связывающие между собой отдельные вспомогательные машины и устройства стана.

Целью проектирования является разработка реверсивного электропривода приемного рольганга стана 1250 обжимного цеха (блюминга) ЗСМК. Реализация этих требований осуществляется на основе применения новейших технических средств: тиристорных преобразователей, систем подчиненного регулирования на базе унифицированной блочной системы регуляторов (УБСР), бесконтактных логических элементов и других высокоэффективных средств управления.

# 1. ПРОЕКТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Технологический процесс участка

Из сталеплавильного цеха горячие слитки на железнодорожных платформах доставляются к нагревательным колодцам, которые расположены в начале обжимного цеха. Посадка слитков в нагревательные колодцы осуществляется специальными клещевыми кранами.

Нагрев слитков осуществляется в рекуперативных нагревательных колодцах до температуры 1300°C. Нагревательные колодцы состоят из 12 групп, по четыре ячейки в каждой группе. Нагретые слитки извлекаются тем же краном из ячеек нагревательных колодцев и кладутся на тележки слитковозов по два.

Доставка слитков к приемному рольгангу осуществляется с помощью слитковозов автоматической кольцевой слиткоподачи. В кольце предусмотрена работы четырех слитковозов.

Приемный рольганг является вспомогательным оборудованием стана 1250 и состоит из четырех секций.

При доставке слитков с первой группы нагревательных колодцев, а также при выходе из строя устройств кольцевой слиткоподачи осуществляется непосредственно клещевым краном на приемный рольганг. Доставка слитков осуществляется по одному.

При доставке слитков со второй группы осуществляется слитковозами работающими в челноке. При доставке слитков с третьей группы и далее осуществляется слитковозами при работе слиткоподачи по кольцу.

После подачи слитка сталковозом и остановки его перед сталкивателем (устройство для сталкивания слитков с тележки слитковоза) слиток сталкивается на остановленные ролики приемного рольганга. Сталкиватели слитков находятся напротив второй и четвертой секции приемного рольганга.

С приемного рольганга слитки транспортируются с помощью подводящих и рабочих рольгангов к клетки 1250, где происходит обжатие металла.

План расположения оборудования участка представлен на рисунке 1.

Управление рольгангами может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Ручной режим осуществляется оператором поста управления (ПУ-2) с помощью ключей управления. Ручной режим предусматривает транспортировку слитков по подводящему рольгангу в одном направлении со скоростью 2 м/с, а также предусмотрен реверс при забурировании и для возврата остывших слитков в нагревательные колодцы.

Автоматика рольгангов под управлением программируемого контроллера, "FESTO" обеспечивает автоматический режим 2, 3, 4 секций приемного рольганга. Транспортирование слитков осуществляется только в одном направлении. При автоматической работе включение приемного рольганга происходит при засвечивании фотореле, расположенных по линии прокатки.

При транспортировании слитка включается одновременно со своей секцией следующая секция (работающая в холостую).

Автоматический режим работы обеспечивает:

- 1) отправку слитков со второй секции приемного рольганга:
  - оператором ПУ-2 нажатием кнопки отправки;
  - при движении сталкивателя назад;
  - включением первой секции приемного рольганга;
- 2) передвижение слитков по приемным рольгангам, где слиток дожидается прокатки, при условии, что на пути следования слитков рольганги свободны;
- 3) расстановку слитков через рольганг в случае "плотной" прокатки с последующей автоматической отправкой с места ожидания по мере освобождения рольганга;
- 4) остановку рольганга после прохождения слитка.

В наиболее тяжелом режиме работает вторая и четвертая секция приемного ролганга при доставке по два слитка слитковозом со второй группы нагревательных колодцев. Слитковоз останавливается напротив второй (четвертой) секции приемного рольганга, сталкивателем сталкивается один слиток на не вращающиеся ролики. Затем включается вторая секция приемного рольганга нажатием кнопки отправки и металл транспортируется к следующей секции приемного рольганга в течении 2,5 секунд. Возможна пробуксовка роликов по металлу в течении одной секунды при буксировании седьмого ролика под неподвижным слитком. Далее сталкивателем сталкивается второй слиток через 5 секунд, включается рольганг при движении сталкивателя назад или нажатием кнопки отправки. После прохождения слитка по рольгангу, аналогично первому слитку, время паузы для доставки следующих слитков 25 секунд.

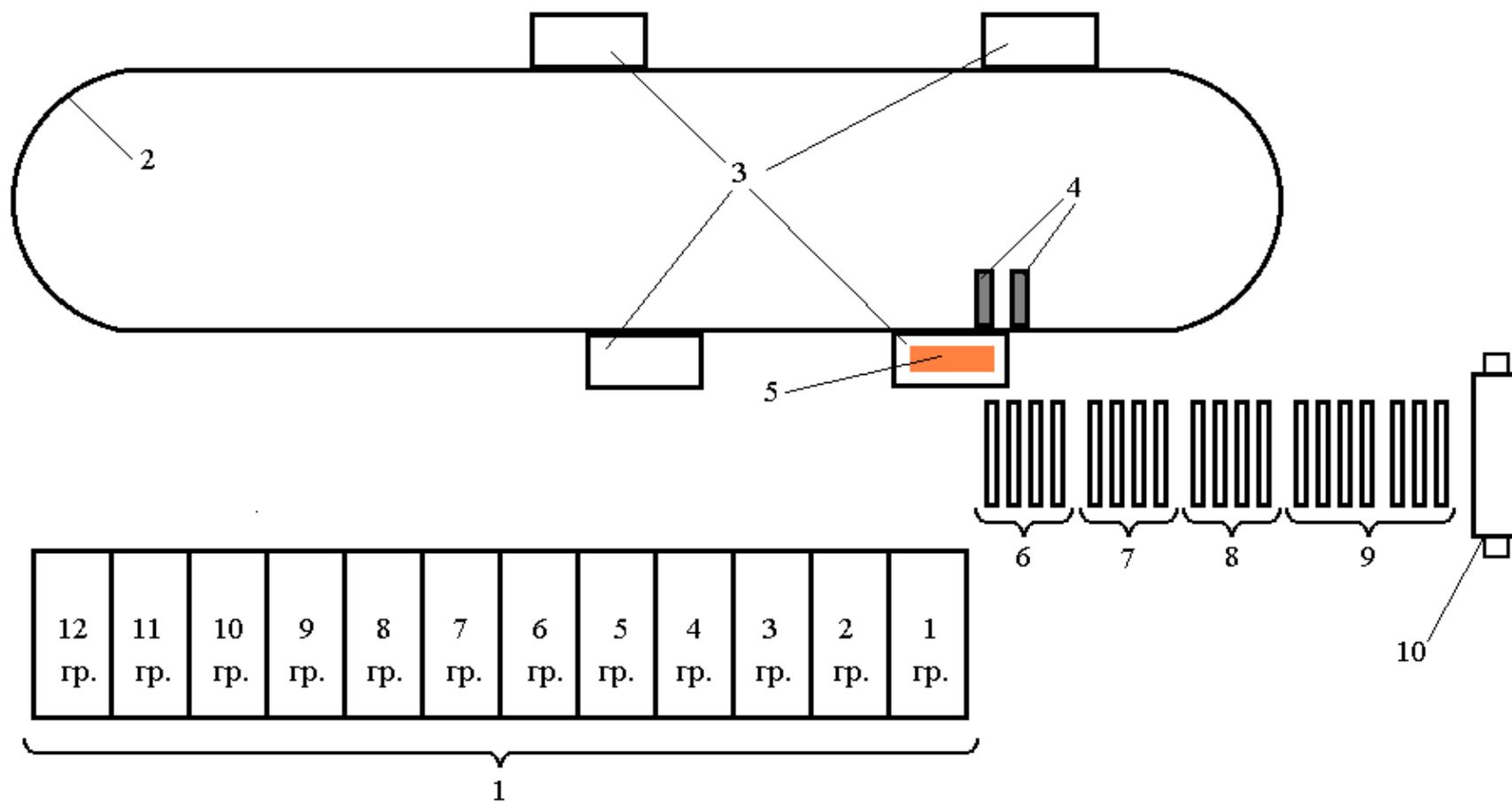


Рисунок 1. План расположения оборудования участка.

1 – нагревательные колодцы; 2 – кольцевая слиткоподача; 3 – слитковоз; 4 – сталкиватель; 5 – слиток; 6 – приёмный рольганг; 7 – подводящий рольганг; 8 – раскатной рольганг; 9 – рабочий рольганг; 10 – клеть 1250.

## 1.2 Кинематическая схема механизма приёмного рольганга

Приемный рольганг принимает слиток от слитковоза и передает на подводный рольганг, который транспортирует его к рабочему рольгангу перед клетью. Ролики этого рольганга принимают на себя удары при опрокидывании на них слитков, и поэтому их делают цельноковаными.

Кинематическая схема приемного рольганга приведена на рисунке 2. Используется секция с групповым электроприводом, работающем в повторно-кратковременном режиме. Секция состоит из семи роликов имеющих общий привод от электродвигателя мощностью 110кВт (500 об/мин) через редуктор с передаточным числом  $i=7,65$ , промежуточные цилиндрические шестерни и шпиндели (типа удлиненных зубчатых муфт) и трансмиссионный вал. Ролики смонтированы на конических роликовых подшипниках. Для восприятия больших ударных нагрузок при подаче слитка массой 13,5 тонн на рольганг не слитковозом, а непосредственно коловцевым клещевым краном предусмотрена амортизация опор роликов при помощи тарельчатых пружин. Электропривод секции групповой, применен здесь, так как приемный рольганг работает в тяжелом режиме, с частыми пусками и большими нагрузками. Для приемного рольганга длина слитка близка к величине шага рольганга, вследствие чего на один ролик приходится почти весь вес прокатываемого металла.

Техническая характеристика элементов кинематической схемы приемного рольганга представлена в таблице 1.

Таблица 1.- Техническая характеристика приемного рольганга

Параметр	В
Вес транспортируемого металла, т	13,5
Масса одного ролика, кг	8280
Число роликов	7
Длина бочки ролика, мм	1200
Шаг роликов, мм	800
Диаметр бочки ролика, мм	600
Диаметр цапфы ролика, мм	260
Передаточное число редуктора	7,65
КПД зубчатой передачи	0,8
Окружная скорость на бочках ролика, м/с	2
Моменты инерции, приведенные к валу двигателя: - незагруженного рольганга, $кг \times м^2$ - загруженного рольганга слитком, $кг \times м^2$	63 95
Режим работы	повторно - кратковременный
Число включений в час	120

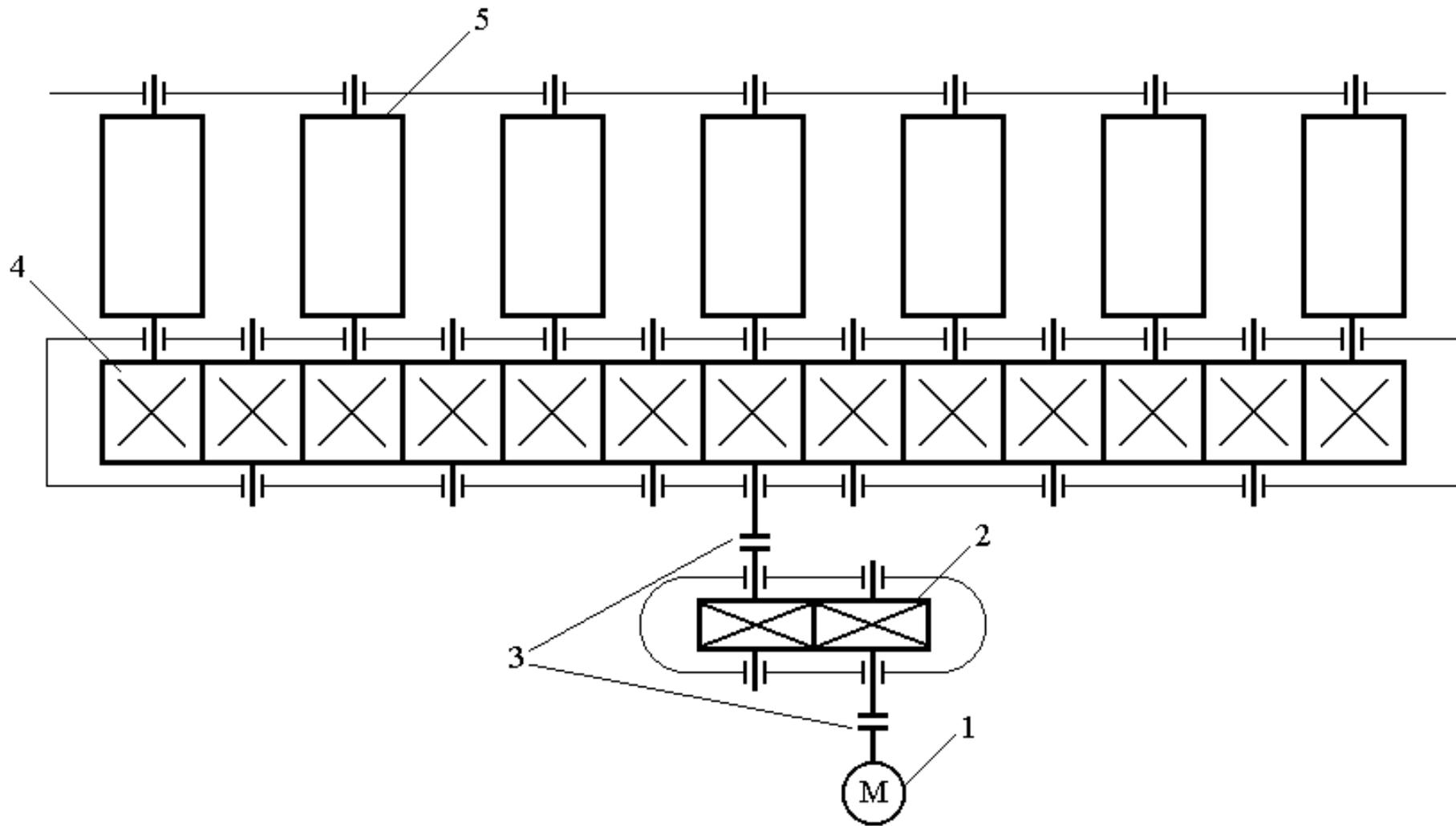


Рисунок 2. Кинематическая схема приёмного рольганга.

1 – электродвигатель; 2 – цилиндрический одноступенчатый редуктор; 3 – муфта; 4 – распределительный редуктор;  
5 – ролик.

### 1.3 Оценка и анализ вариантов исполнения электропривода приёмного рольганга

Выбор рода тока и типа электропривода производится исходя из целого ряда условий, предъявляемых к режиму работы исполнительного механизма. Приёмный рольганг работает в повторно - кратковременном режиме работы с частыми пусками, реверсами и торможениями, требует большой перегрузочной способностью для быстрого ускорения металла со слитком, а так же регулирования скорости вращения роликов. Для данного электропривода используется двигатель постоянного тока, имеющий следующие преимущества:

- более высокая перегрузочная способность, достигающая  $2,5 \div 4$  - кратной величины (у асинхронных двигателей она не превышает  $2 \div 2,5$  кратной величины);
- минимальный момент инерции;
- электрическое торможение двигателей постоянного тока осуществляется проще и дает лучшие результаты, чем торможение асинхронного двигателя;
- допускают регулирование скорости в широких пределах;
- аппаратура управления на постоянном токе проще и надежнее в действии, чем аппаратура управления на переменном токе.

Для питания двигателя постоянного тока существуют системы управления:

- генератор-двигатель;
- транзисторный преобразователь-двигатель;
- тиристорный преобразователь-двигатель.

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

Система генератор - двигатель (Г-Д) позволяет плавно регулировать скорость двигателя и практически не вносит искажений (помех) в питающую

сеть, имеет большую установленную мощность электрических машин - следовательно, более низкий КПД, большие габариты и массу. Кроме того, эта система требует большого количества коммутационной аппаратуры и имеет высокую шумность.

Система транзисторный преобразователь-двигатель, несмотря на простоту управления транзисторами (транзистор - полностью управляемый прибор) и высокий КПД преобразователя (до 0,98%) имеет малую мощность из-за ограниченной мощности элементной базы (транзисторов).

Система тиристорный преобразователь - двигатель (ТП-Д), несмотря на внесение искажений в питающую сеть, имеет высокий КПД (до 0,98%), меньшую мощность установленного оборудования, отсутствие подвижных частей, высокое быстродействие, меньшие габариты и массу, бесшумность работы, высокий уровень автоматизации, большой срок службы, простоту резервирования.

Проанализировав возможные варианты и сопоставив их с требованиями, приходим к выводу о необходимости применения в качестве устройства управления скоростью двигателя постоянного тока электропривода приемного рольганга систему тиристорный преобразователь - двигатель.

В нашем случае в качестве электропривода приемного рольганга целесообразно использование комплектного тиристорного электропривода постоянного тока серии КТЭ.

Электропривод КТЭ отвечает всем необходимым требованиям, предъявляемым к электроприводу приемного рольганга, к его статическим и динамическим показателям качества.

## **1.4 Обоснование функциональной схемы РЭП и выбор ее основных элементов**

### **1.4.1 Функциональная схема электропривода**

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

На рисунке 3. представлена функциональная схема автоматизированного тиристорного реверсивного электропривода постоянного тока приемного рольганга. Рассмотрим схему и назначение ее основных элементов.

Электродвигатель М независимого возбуждения получает питание от реверсивного тиристорного преобразователя UZ, который питается от трехфазной сети через автоматический выключатель QF1 и согласующий трансформатор Т. Выключатель QF1 защищает преобразователь и двигатель от токов короткого замыкания и больших перегрузок по току.

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

Сглаживающий дроссель LD включенный в якорную цепь позволяет ограничить величину переменных составляющих тока и, тем самым улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики. Выключатель QF2 производит отключение двигателя М и защищает его от перегруза и коротких замыканий.

Автоматическая система регулирования (АСР) представляет собой двухконтурную систему подчиненного регулирования скорости с отрицательной обратной связью по ЭДС и току двигателя.

Управление электродвигателем (пуск, регулирование частоты вращения, реверс и торможение) осуществляется с помощью бесконтактного

аппарата управления SA с поста управления. Для ограничения и регулирования темпа разгона электродвигателя (ускорения  $\frac{dw}{dt}$ ) на входе регулятора ЭДС установлен задатчик интенсивности AI1, а для ограничения темпа нарастания тока двигателя (рывка  $\frac{d^2w}{dt^2}$ ) – задатчик интенсивности AI2 установлен на входе контура тока.

Сигнал, снимаемый с шунта RS, поступает на датчик тока UA, с выхода которого поступает на датчик ЭДС UV2, а также является отрицательной обратной связью по току, пропорциональной току двигателя. На датчик ЭДС так же приходит сигнал с датчика напряжения UV1 через делитель напряжения, DV.

Сигналы задания скорости, обратной связи по скорости и заданного значения производной по скорости ( $dn/dt$ -ускорение) поступает на вход устройства шунтировки регуляторов. При наличии любого из перечисленных выше сигналов по управлению, превышающих пороговое значение на входе порогового устройства, на его выходе появляется положительное напряжение, которое поступает на управление ключами, для разблокировки регуляторов AA. При уменьшении всех сигналов на входе устройства до уровней меньших порогового ключи блокируют (шунтируют) регуляторы.

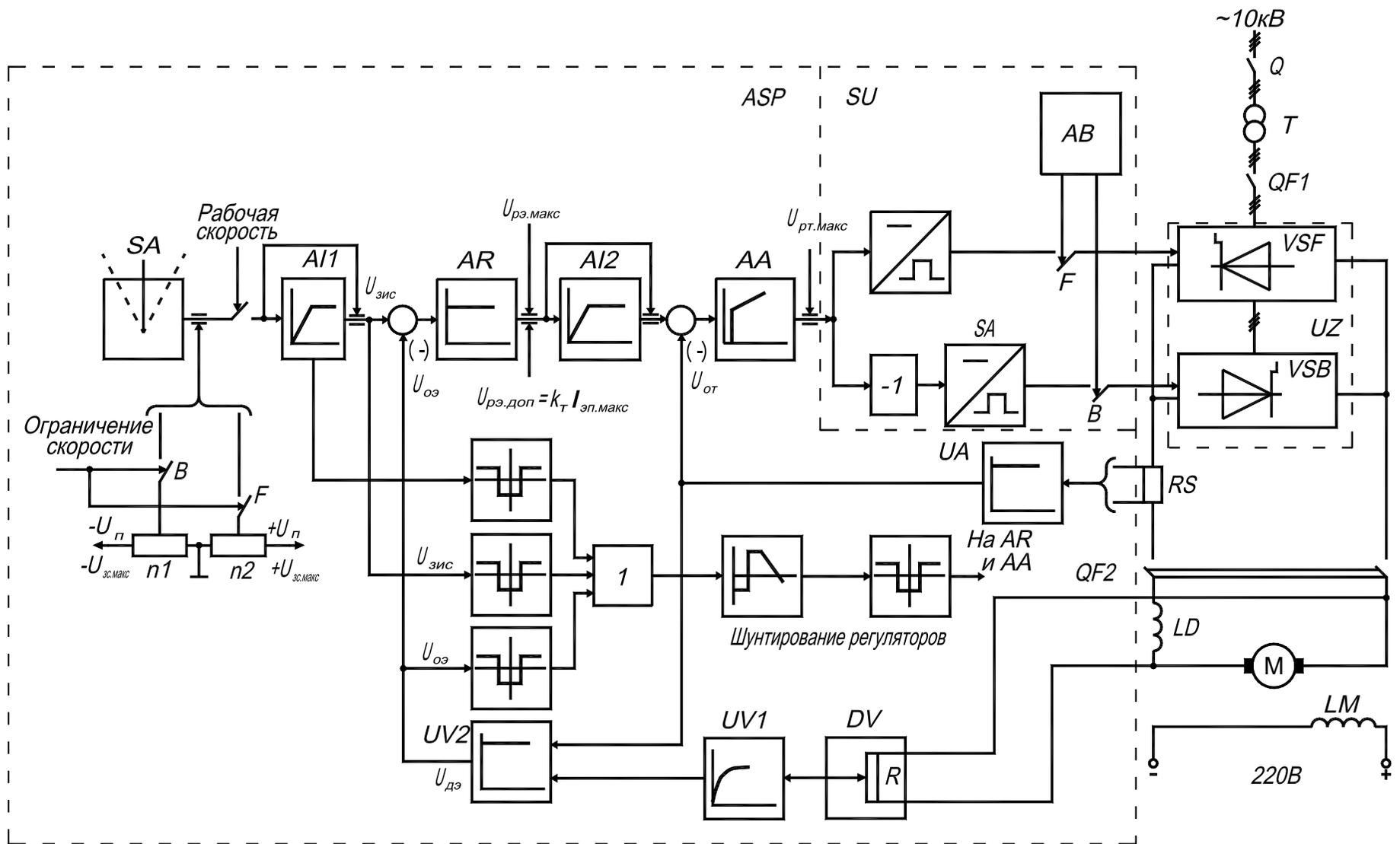


Рисунок 3. Схема электрическая функциональная электропривода приёмного рольганга стана 1250

## 1.4.2 Функциональная схема преобразовательной части электропривода

На рисунке 4 представлена функциональная схема преобразовательной части электропривода приемного рольганга.

Узел фазосмещения АТ формируется шесть последовательностей импульсов для выпрямительного моста VSF или VSB, которые усиливаются усилителями А-Ф и А-В. Сдвиг импульсов относительно силового напряжения определяется напряжением управления  $U_y$ .

Для синхронизации с питающей сетью на вход АТ поступает опорное напряжение  $U_{оп}$  после фильтра Z. Выбор работающего моста осуществляется логическим переключающим устройством (ЛПУ) АВ в зависимости от полярности напряжения  $U_n$  и абсолютного тока нагрузки ( $i_d$ ). Устройство АВ формирует логические сигналы выбора моста VSF или VSB, переключает полярность напряжения задания начального угла  $U_o$  и вырабатываемого сигнала бестоковой паузы  $BF1=1$ , которым снимаются импульсы с обоих выпрямительных мостов.

Сигнал BF2, появляющийся одновременно с сигналом BF1, но исчезающий несколько позже, служит для отключения сигнала задания тока во времени бестоковой паузы. По сигналу  $U_{ср}$  (срыв импульсов) импульсы снимаются с обоих выпрямительных мостов.

Защита электропривода осуществляется узлом АФ, который воспринимает перегрузки в цепи переменного тока ( $i_d$ ) и в цепи постоянного тока  $i_d$ , а также сигналом "Авария", вырабатываемым в схеме электропривода. Узел АФ через узел ускоренного отключения АР отключает автоматический выключатель главной цепи QF, воздействуя на его независимый расцепитель R, снимает сигнал готовности в схеме управления электроприводом и сдвигает управляющие импульсы в инверторную область.

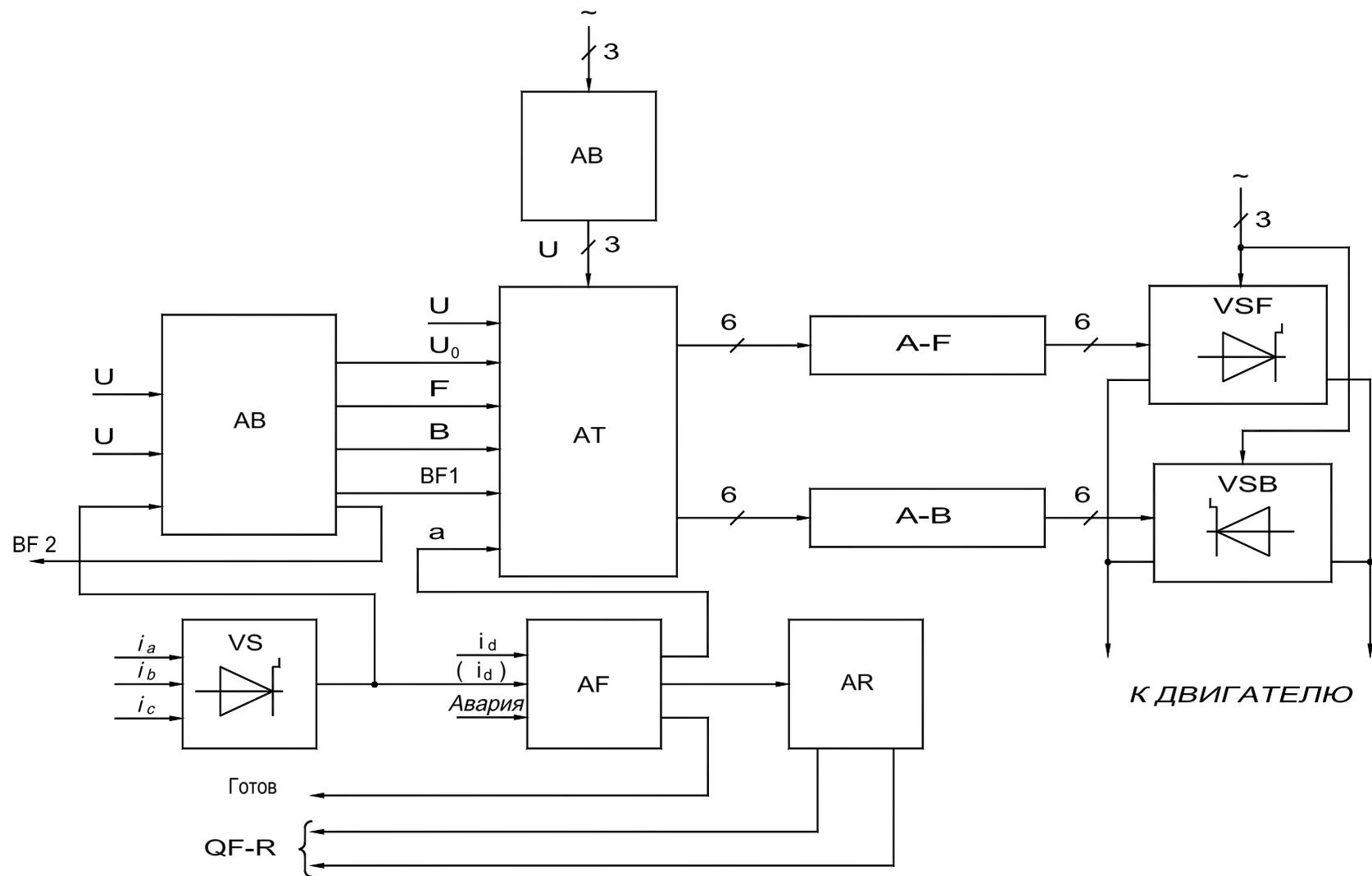


Рисунок 4 Функциональная схема преобразовательной части электропривода

## 2. ПРОЕКТНО - РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Выбор электрооборудования, расчет параметров и характеристик элементов силовой цепи

#### 2.1.1 Выбор электродвигателя

Произведем проверочный расчет краново-металлургического двигателя постоянного тока серии Д, типа Д814 с независимым возбуждением для электропривода приемного рольганга стана 1250.

Двигатель серии Д предназначен для специализированных кранов, вспомогательных металлургических механизмов, работающих в повторно - кратковременном режиме работы, с большим числом включений, широким диапазоном регулирования и высокой перегрузочной способностью в условиях повышенной влажности, запыленности и вибрации. Технические данные двигателя типа Д814 представлены в таблице 2.

Таблица 2.- Технические данные электродвигателя типа Д814.

Величина		Значение
Наименование	Обозначение	
Тип	-----	Д814
Номинальная мощность, кВт	$P_n$	110
Номинальное напряжение якоря, В	$U_n$	440
Номинальный ток якоря, А	$I_n$	274
Номинальные обороты вращения, об/мин	$n_n$	500
Возбуждение	-----	независимое
Номинальный ток возбуждения, А	$I_{в.н.}$	5,2
Номинальное напряжение возбуждения, В	$U_{в.н.}$	220
Момент инерции двигателя, кг·м <sup>2</sup>	$J_{дв}$	10,25

Продолжение таблицы 2

Повторно – кратковременный режим	-----	ПВ=40%
Сопротивление якоря двигателя при 20° С, Ом	R <sub>оя</sub>	0,032
Сопротивление дополнительных полюсов двигателя при 20° С, Ом	R <sub>д.п</sub>	0,021
Номинальный вращающийся момент, Н·м	M <sub>н</sub>	2100
Допустимый коэффициент перегрузочной способности двигателя	λ <sub>дв</sub>	2,8

Проверочный расчет электродвигателя производим по методике [5].

Для определения нагрузки на электродвигатель рольганга необходимо рассчитать следующие моменты статических сопротивлений:

- момент холостого хода роликов;
- момент транспортирования металла по роликам;
- момент буксирования роликов по транспортируемому металлу.

Момент холостого хода рольганга, приведенный к валу двигателя, определяется по выражению:

$$M_{xp} = \frac{m_p \times g \times Z_p \times d_{ц} \times \eta_l}{2 \times h_x}, \quad (2.1)$$

где  $m_p = 8280 \text{ кг}$  - масса одного ролика;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение силы тяжести;

$Z_p = 7$  - число роликов секции рольганга с групповым электроприводом;

$d_{ц} = 600 \text{ мм}$  - диаметр цапфы роликов;

$\eta_l = 0,01$  - коэффициент трения скольжения в подшипниках ролика при воздействии на подшипники высоких температур транспортируемого металла по ([2],таблице 20);

$i = 7,65$  - передаточное число редуктора;

$h_x = 0,8$  - КПД редуктора при холостом ходе

Недостатком расчета момента холостого хода роликов по формуле (2.1.) является то, что в ней не учитывается момент, необходимый для холостого вращения элементов передачи (редуктора, трансмиссионного вала, муфт). С целью учета момента холостого хода передач рекомендуется снижение КПД при малых нагрузках. КПД сохраняется при уменьшении нагрузки до 75% от номинальной. При снижении нагрузки до 5-10% от номинальной КПД рекомендуется снижать на 50%, т.е.  $h_x = 0,5 \times h_H = 0,5 \times 0,8 = 0,4$ , тогда

$$M_{x.p} = \frac{8280 \times 9,81 \times 7 \times 0,26 \times 0,01}{2 \times 7,65 \times 0,4} = 246,3 \text{ Н}$$

При определении момента холостого хода необходимо также учитывать потери в электродвигателе. Момент холостого хода двигателя определяется по формуле:

$$M_{x.d.} = (0,05 - 0,1) \times M_H = 0,1 \times 2100 = 210 \text{ Н} \times \text{м}$$

где  $M_H = 2100 \text{ Н} \times \text{м}$  - номинальный вращающий момент двигателя;

Таким образом, полный момент холостого хода рольганга равен:

$$M_x = M_{x.p} + M_{x.d.} = 246,3 + 210 = 456,3 \text{ Н} \times \text{м}$$

При транспортировании металла с установившейся скоростью возникают дополнительные по сравнению с холостым ходом нагрузки, увеличение момента трения в подшипниках от силы тяжести металла и момента трения качения роликов по металлу.

Момент транспортировки металла по роликам, приведенный к валу двигателя, определяется по выражению:

$$M_{mp} = \frac{m_m \times g \times \frac{\alpha d_u}{2 \times \eta_t} + f \frac{\ddot{\phi}}{\phi}}{i \times h_{tp}},$$

где  $m_m$  - масса металла слитков, приходящаяся на секцию рольганга, кг;

$f=0,15$  - коэффициент трения качения металла по роликам (для горячего металла);

$\eta_{тр}$  - КПД редуктора при транспортировании металла по рольгангу.

Так как транспортирование слитка по рольгангу дает обычно незначительное увеличение статической нагрузки на электропривод по сравнению с нагрузкой холостого хода, то можно принять  $\eta_{тр}=\eta_x=0,4$ , тогда

$$M_{тр} = \frac{13500 \times 9,81 \times \left( \frac{0,26}{2 \times 0,01} + 0,15 \times 10^{-2} \right)}{7,65 \times 0,4} = 123,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Полный статический момент при транспортировании металла, приведенный к валу двигателя:

$$M_{СТ} = M_x + M_{ТР} = 456,3 + 123,5 = 579,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент пробуксовки роликов по металлу определяется для выбора двигателей рольгангов по перегрузочной способности. Двигатели рольгангов должны развивать момент, достаточный для пробуксовки рольганга по транспортируемому металлу.

Момент буксирование роликов по транспортируемому металлу, приведенный к валу двигателя определяется по формуле:

$$M_{б} = \frac{m_m \times g \times (d_p \times \mu_b + d_u \times \mu_u)}{2 \times h_n},$$

где  $d_p$  - диаметр ролика, м;

$\mu_b$  - коэффициент трения при буксировании (для горячей стали по [5], таблица 13  $\mu_b=0,3$ )

$\eta_n$  - КПД редуктора номинальный.

$$M_{б} = \frac{13500 \times 9,81 \times (0,6 \times 0,3 + 0,26 \times 0,01)}{2 \times 7,65 \times 0,8} = 2014 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Полный статический момент при буксировании, приведенный к валу двигателя, определяется по формуле:

$$M_{сб} = M_x + M_6 = 456,3 + 2014 = 2470,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

*Проверим двигатель на перегрузочную способность*

На основании проведённых расчётов отношение  $\frac{M_{\text{макс}}}{M_n} = \frac{2470}{2100} = 1,176$ ,

меньше коэффициента перегрузки двигателя  $k = 2,8$

Это значит, что двигатель проходит по перегрузочной способности.

*Проверяем двигатель по нагреву*

Время разгона электропривода рольганга:

$$t_n = \frac{J_{\text{э2}} \times \omega_{\text{расч}}}{M_n - M_{\text{см}}} = \frac{105,25 \times 51}{2520 - 579,8} = 2,5 \text{ с}$$

где  $J_{\text{э2}} = J_{\text{МЕХ2}} + J_{\text{ДВ}} = 95 + 10,25 = 105,25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  - момент инерции электропривода с загруженным рольгангом;

$\omega_{\text{расч}} = \frac{V}{r_p} \times i = \frac{2}{0,3} \times 7,65 = 51 \text{ рад/с}$  - расчетная угловая скорость вращения двигателя;

$M_n$  - средний пусковой момент двигателя; для разгона рольганга с заготовкой необходимо принять  $M_n = 1,2 \cdot M_H = 1,2 \cdot 2100 = 2520 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

$r_p = 0,3 \text{ м}$  - радиус ролика.

Время торможения электропривода рольганга:

$$t_m = \frac{J_1 \times \omega_{\text{расч}}}{M_m + M_x} = \frac{73,25 \times 51}{1680 + 456,3} = 1,75 \text{ с}$$

где  $J_1 = J_{\text{МЕХ1}} + J_{\text{ДВ}} = 63 + 10,25 = 73,25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  - момент инерции рольганга без металла;

$M_m$  - средний тормозной момент двигателя; для торможения незагруженного рольганга необходимо принять  $M_m = 0,8 \cdot M_H = 0,8 \cdot 2100 = 1680 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Используя, расчетные данные моментов и технологический процесс механизма, строим нагрузочную диаграмму приемного рольганга, которая приведена на рисунке 5.

По нагрузочной диаграмме определяем момент эквивалентный, приведенный к валу двигателя:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_n^2 \times t_1 + M_{cn}^2 \times t_2 + M_{c.б}^2 \times t_3 + M_x^2 \times t_4 + M_m^2 \times t_5 + M_n^2 \times t_6 + M_{cn}^2 \times t_7 + M_{c.б}^2 \times t_8 + M_x^2 \times t_9 + M_m^2 \times t_{10}}{\frac{1+\beta}{2} \times (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10})}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2520^2 \times 2,5 + 579,8^2 \times 2,5 + 2470,3^2 \times 1 + 456,3^2 \times 1,2 + 1680^2 \times 1,5 + 2520^2 \times 2,5 + 579,8^2 \times 2,5 + 2470,3^2 \times 1 + 456,3^2 \times 1,2 + 1680^2 \times 1,5}{\frac{1+0,5}{2} \times (2,5 + 2,5 + 1 + 1,2 + 1,5 + 2,5 + 2,5 + 1 + 1,2 + 1,5)}} = 1900 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где  $t_1 \div t_{10}$  - время работы на каждом участке нагрузочной диаграммы, с;

$\beta=0,5$  - коэффициент ухудшения вентиляции электродвигателя при стоянке [5];

Эквивалентная продолжительность включения:

$$ПВ_{\text{э}} = \frac{\overset{\circ}{a} t_p}{t_{\text{ц}}} \times 100\% = \frac{\overset{\circ}{a} t_p}{\overset{\circ}{a} t_p + \overset{\circ}{a} t_0} \times 100\% =$$

$$= \frac{1,5 + 2,5 + 1 + 1,2 + 1 + 1,5 + 2,5 + 1 + 1,2 + 1}{1,5 + 2,5 + 1 + 1,2 + 1 + 5 + 1,5 + 2,5 + 1 + 1,2 + 1 + 2,5} \times 100\% = 32,4\%$$

где  $t_{\text{ц}}=21,9$  - время цикла, с;

$t_0=7,5$  - время паузы, с.

Эквивалентная мощность двигателя:

$$P_{\text{э}} = M_{\text{э}} \times \omega_{\text{расч}} = 1900 \times 51 = 96900 \text{ Вт} \approx 97 \text{ кВт}$$

Приведём эквивалентную мощность к ближайшему каталожному значению  $ПВ=40\%$ :

$$P_{\text{к}} = P_{\text{э}} \times \sqrt{\frac{ПВ_{\text{э}}}{ПВ_{\text{к}}}} = 97 \times \sqrt{\frac{32,4}{40}} = 87,3 \text{ кВт}$$

Расчетная мощность двигателя;

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{к}} \times K_3 = 1,2 \times 87,3 = 104,7 \text{ кВт}$$

где  $K_3=1,1 \div 1,2$  - коэффициент запаса, учитывающий отличие нагрузочной диаграммы от режима работы производственного механизма. Принимаем  $K_3=1,2$

Условие по нагреву  $P_n \geq P_{расч}$  выполняется.

Значит электродвигатель Д814 для электропривода приемного рольганга стана 1250 выбран правильно и проходит по нагреву и перегрузочной способности.

### Расчетные параметры электродвигателя

Сопротивление двигателя в холодном состоянии

$$R_{дв} = R_{оя} + R_{дп} = 0,032 + 0,021 = 0,053 \text{ Ом.}$$

Сопротивление двигателя в нагретом состоянии (при нагреве  $+90^\circ$ )

$$R_{дв.гор} = 1,36 \times R_{дв} = 1,36 \times 0,053 = 0,072 \text{ Ом.}$$

Номинальная угловая скорость

$$\omega_n = \frac{2 \times p \times n_n}{60} = \frac{2 \times p \times 500}{60} = 52,35 \text{ рад/с}$$

Коэффициент ЭДС  $\frac{eB \times \ddot{\phi}}{c} \frac{\text{В}}{\text{рад/с}}$  и электромагнитного момента  $\frac{eI \times M \ddot{\phi}}{c} \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{с}}$

$$c = \frac{U_n - I_n \times R_{дв.гор}}{\omega_n} = \frac{440 - 274 \times 0,072}{52,35} = 8,036$$

Максимальная ЭДС электродвигателя

$$E_{дв.макс} = c \times \omega_n = 8,036 \times 52,35 = 420,68 \text{ В}$$

Максимальный ток двигателя при допустимой перегрузке

$$I_{дв.макс} = 2,8 \times I_n = 2,8 \times 274 = 767,2 \text{ А}$$

Индуктивность двигателя

$$L_{дв} = g \times \frac{U_n}{I_n \times p \times \omega_n} = 0,3 \times \frac{440}{274 \times 2 \times 52,35} = 0,0046 \text{ Гн}$$

где  $p = 2$  - число пар полюсов электродвигателя;

$g$  - коэффициент, приняты равным 0,3.

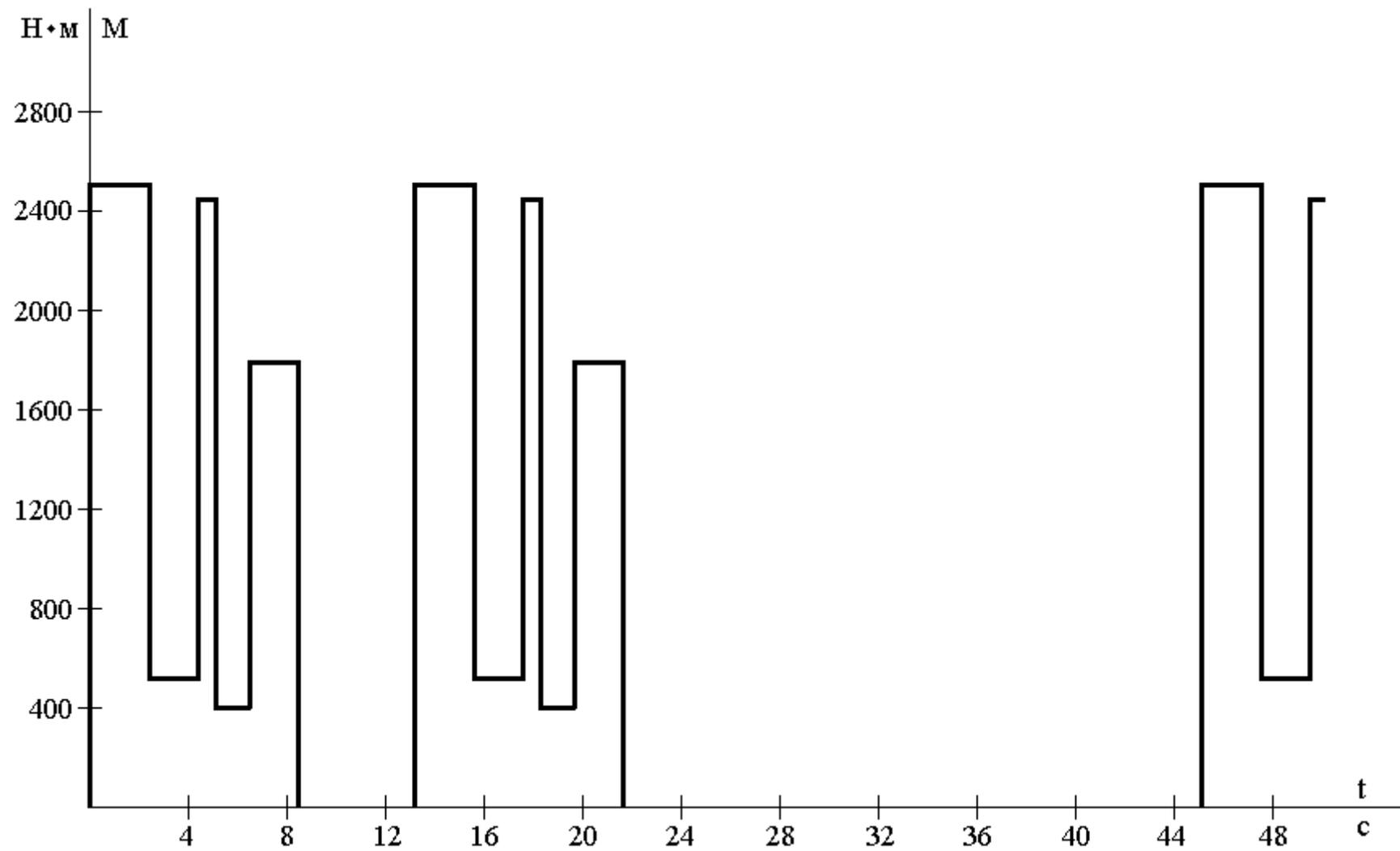


Рисунок 5 Нагрузочная диаграмма приёмного рольганга

Постоянная времени электродвигателя

$$T_{ДВ} = \frac{L_{ДВ}}{R_{ДВ.ГОР}} = \frac{0,0046}{0,072} = 0,064с$$

## 2.1.2 Выбор комплектного регулируемого электропривода и силовых элементов входящих в него

### Выбор комплектного регулируемого электропривода

Для питания и управления скоростью выбранного электродвигателя типа Д814 принимается комплектный регулируемый электропривод серии КТЭ. Условие выбора комплектного электропривода (тиристорного преобразователя) сводится к следующему:

- номинальный выпрямленный ток преобразователя должен быть равен или больше номинального тока двигателя  $I_{дн} \geq I_{ДВ.Н}$  ;
- номинальное выпрямленное напряжение преобразователя должно быть согласованно с номинальным напряжением двигателя, в нашем случае  $U_{дн} = (U_{ДВ} + 20) = 460В$  ;
- максимальный допустимый ток преобразователя желательно должен быть не менее максимального тока электродвигателя при заданном времени.

На основании изложенного выбираем комплектный электропривод типа КТЭ 320/460...УХЛ4 (реверсивный, с отдельным управлением группами вентиля, с естественным охлаждением, схема выпрямления – трёхфазная мостовая, с основными номинальными параметрами  $U_{дн} = 460В$  ,  $I_{дн} = 320А$  ,  $I_{d\max} = 2.25 \times 320 = 720А$  при длительности 10с).

Технические данные преобразователя представлены в таблицу 3

Таблица 3 - Технические данные КТЭ-320/440-132-1-УХЛ4.

Величина	Значение
Номинальный ток преобразователя, А	320
Номинальное напряжение преобразователя, В	460
Коэффициент полезного действия, %	94
Коэффициент мощности	0,85
Ассиметрия управляющих импульсов, эл.град.	$\pm 3$
Величина тока уставки максимальной токовой защиты, А	860
Диапазон регулирования $U_d$ , %	0-100
Отклонение питающей сети от номинального значения: -для высокого напряжения, % -для низкого напряжения, %	$\pm 10$ + 10,-15
Диапазон регулирования скорости вращения двигателя	25:1
Статическая погрешность поддержания скорости вращения, %	4
Погрешность отработки заданной скорости не более, %	0,3
Время реверса тока якоря, мс	30
Ограничение полного тока при заданном уровне с погрешностью не более, %	10
Пределы регулирования ограничения темпа нарастания в якоре двигателя, А/с	$(40-100)I_n$
Диапазон измерения управляющего сигнала, В	$\pm 10$
Диапазон фазового управления, эл.град.	170
Дрейф фазовой характеристики при изменении температуры окружающей среды от $1 \div 40^\circ\text{C}$ , эл.град	$\pm 4$
Зависимость угла регулирования от напряжения управления	линейная

Продолжение таблицы 3

Жесткость ограничивающей характеристики, В	±0,5
Диапазон регулирования:	
-минимального угла, эл.град	5-90
-максимального угла, эл.град	90-175
-угла согласования, эл.град	5-175
Длительность выходных импульсов, мс	0,45-0,1

### Выбор силового трансформатора

Для питания силовой цепи реверсивных тиристорных преобразователей выполненных по трехфазной мостовой схеме выпрямления применяются специальные преобразовательные трёхфазные трансформаторы, согласованные по вторичному напряжению с номинальным напряжением выпрямителя и электродвигателя. На основании параметров выпрямителя  $U_{дн} = 460В$ ,  $I_{дн} = 320А$  выбираем сухой, двухобмоточный преобразовательный трансформатор ТСЗП-400/10 УЗ с подключением сетевой обмотки к сети 10кВ. Технические данные трансформатора представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Технические данные трансформатора

Тип трансформатора	Сетевая обмотка		Вентильная обмотка		Преобразователь		Потери		Напряжение короткого замыкания $U_{кз}$ , %	Ток холостого хода $I_{х.х.}$ , %
	Мощность, кВт	Напряжение, кВ	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Ток, А	Холостого хода $\Delta P_x$ , Вт	Короткого замыкания		
ТСЗП-400/10УЗ	364	10	410	514	460	630	1600	4500	5,3	2,5
Соединение обмоток трансформатора $\frac{D}{D} - o$										

## Расчетные параметры трансформатора

Расчет ведём для эквивалентного соединения вторичной обмотки трансформатора в звезду, тогда:

$$I_{2\phi} = I_{2л} = 514 \text{ A},$$
$$U_{2\phi} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}} = \frac{410}{\sqrt{3}} = 236.7 \text{ B}$$

Активное сопротивление обмотки трансформатора на фазу:

$$R_{\text{тр.}\phi} = \frac{DP_{\text{кз}}}{m_2 \times I_{2\phi.н.}^2} = \frac{4500}{3 \times 514^2} = 0,0057 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление обмотки трансформатора на фазу:

$$Z_{\text{тр.}\phi} = \frac{U_{\text{к.з.}\%} \times U_{2\phi.н.}}{100 \times I_{2\phi.н.}} = \frac{5,3 \times 236,7}{100 \times 514} = 0,0245 \text{ Ом}$$

Реактивное сопротивление обмотки трансформатора на фазу:

$$X_{\text{тр.}\phi} = \sqrt{Z_{\text{тр.}\phi}^2 - R_{\text{тр.}\phi}^2} = \sqrt{0,0245^2 - 0,0057^2} = 0,0238 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмоток трансформатора на фазу:

$$L_{\text{тр.}\phi} = \frac{X_{\text{тр.}\phi}}{\omega_C} = \frac{0,0238}{314} = 0,076 \times 10^{-3} \text{ Гн}$$

где  $\omega_C = 314 \text{ рад/с}$  - угловая частота питающей сети.

## Выбор сглаживающего реактора

При питании от ТП по двигателю помимо постоянной составляющей тока протекают переменные составляющие, величина которых зависит от угла управления и параметров нагрузки. Это приводит к повышению нагрева двигателя, ухудшению условий коммутации и снижению жесткости механических характеристик в связи с расширением зоны прерывистых токов. Включение сглаживающего реактора в якорную цепь позволяет

ограничить величину переменных составляющих и, тем самым, улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики.

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

Номинальный ток реактора выбирается из условия

$$I_{др.н} \geq \frac{I_{дв} \times I_{дв}}{I_{др}} = \frac{2,8 \times 274}{3} = 255,7 \text{ А.}$$

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

$$L_{кн1} = \frac{1}{\omega} \times k_{зр.макс} \times \frac{E_{d0}}{I_{д.зр}} = \frac{1}{314} \times 0,093 \times \frac{553,9}{27,4} = 0,006 \text{ Гн,}$$

где при  $a = 90^\circ$   $k_{зр.макс} = \frac{\pi}{6} - \frac{\rho}{m_e} \times \text{ctg} \frac{\rho}{m_e} \times \sin a = \frac{\pi}{6} - \frac{\rho}{6} \times \text{ctg} \frac{\rho}{6} \times \sin 90^\circ = 0,093$ ,

$$I_{д.зр} < 0,1 \times I_{дв.н} = 0,1 \times 274 = 27,4 \text{ А}$$

Тогда индуктивность дросселя

$$L_{др1} = L_{кн1} - 2 \times L_{тр.ф} - L_{дв} = 0,006 - 2 \times 0,076 \times 10^{-3} - 0,0046 = 0,001248 \text{ Гн.}$$

Индуктивность якорной цепи из условия ограничения пульсаций тока на уровне 5%

$$L_{кн2} = \frac{E_{d(1)} \times 100}{m_e \times \omega_c \times P(1)\% \times I_{дн}} = \frac{134,4 \times 100}{6 \times 314 \times 5 \times 274} = 0,00522 \text{ Гн,}$$

где  $E_{d(1)} = \frac{E_{d0}}{\sqrt{2}} \times \frac{2 \times m_e}{(m_e^2 - 1)} = \frac{553,9}{\sqrt{2}} \times \frac{2 \times 6}{(6^2 - 1)} = 134,4 \text{ В}$

Тогда индуктивность дросселя

$$L_{др2} = L_{кн2} - 2 \times L_{тр.ф} - L_{дв} = 0,00522 - 2 \times 0,076 \times 10^{-3} - 0,0046 = 0,000467 \text{ Гн.}$$

На основании расчетных параметров выбираем реактор серии ФРОС-65/0,5УЗ. Фильтровые однофазные одностержневые реакторы серии ФРОС с естественным воздушным охлаждением открытого исполнения

предназначены для длительной работы в цепи выпрямленного тока со значением выпрямленного напряжения не выше 500В. Индуктивность реакторов уменьшается не более чем на 10% от номинальной при трёхкратном номинальном токе. Параметры сглаживающего реактора представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Параметры реактора типа ФРОС-65/0,5УЗ

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
Номинальный ток	$I_{p.n}$	А	320
Индуктивность	$L_p$	мГн	1,0
Масса	m	кг	82
Активное сопротивление	$R_p$	Ом	0,0045

### Выбор автоматических выключателей

Выключатели автоматические предназначены для защиты электрических установок при коротких замыканиях, перегрузах и недопустимых снижениях напряжения, для нечастых оперативных включений и отключений электрической цепи. Технические данные автоматических выключателей установленных на стороне переменного и постоянного токов в КТЭ-320/440-132-1УХЛ4 представлены в таблице 6.

Таблица 6. -Технические данные автоматических выключателей.

Параметры	Автоматический выключатель	
	на стороне переменного тока	на стороне постоянного тока
Тип	A3756Б	A3795П
Нулевой расцепитель	380В,50Гц	380В,50Гц

Продолжение таблицы 6

Независимый расцепитель	-	=110В
Электромагнитный привод	380В,50Гц	380В,50Гц
Номинальное напряжение главной цепи	380В,50Гц	=440В
Номинальный ток главной цепи	400А	400А
Уставка	1500А	2500А

### Расчетные параметры преобразователя

Средняя выпрямленная ЭДС при угле управления  $\alpha = 0$

$$E_{d0} = k_{U2Л} \times U_{2Л} = 1,351 * 410 = 553,9В$$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя (максимальное значение)

$$k_{ТП} = \frac{\rho \times k_{\gamma O} \times E_{d0}}{2 \times U_{оп.МАКС}} = \frac{3,14 \times 0,475 \times 553,9}{10} = 174$$

где  $k_{\gamma O} = 0,475$  - коэффициент передачи управляющего органа на входе СИФУ;

$2 \times U_{оп.МАКС} = 10В$  - размах линейного опорного напряжения на входе СИФУ.

Постоянная времени тиристорного преобразователя, обусловленная средним значением времени запаздывания

$$T_{ТП} = \frac{0,5}{m_e \times f_C} = \frac{0,5}{6 \times 50} = 0,00167с$$

где  $m_e = 6$  - число пульсов преобразователя;

$f_C = 50Гц$  - частота тока питающей сети.

### 2.1.3 Расчет параметров силовой цепи

Сопротивление силовой цепи преобразователя

$$R_{ТП} = 2 \times R_{mp.\phi} + R_k = 2 \times 0,0057 + 0,0227 = 0,0341 \text{ Ом}$$

где  $R_k = \frac{m_6 \times X_{mp.\phi}}{K_{cx} \times \rho} = \frac{6 \times 0,0238}{2 \times \rho} = 0,0227 \text{ Ом}$  - сопротивление, вносимое за

счёт коммутации токов тиристоров;

$m_6 = 6$  - пульсность схемы выпрямления.

Сопротивление силовой цепи двигателя

$$R_{ц.дв} = R_{дв.гор} + R_p + 0,1 \times R_{дв.гор} = 0,072 + 0,0045 + 0,1 \times 0,072 = 0,0837 \text{ Ом}$$

Сопротивление силовой цепи

$$R_{яц} = R_{ТП} + R_{ц.дв} = 0,0341 + 0,0837 = 0,1178 \text{ Ом}$$

Индуктивность силовой цепи преобразователя

$$L_{ТП} = 2 \times L_{тр.\phi} = 2 \times 0,758 \times 10^{-4} = 1,516 \times 10^{-3} \text{ Гн}$$

Расчетное значение индуктивности силовой цепи

$$L_{яц} = L_{дв} + 2L_{тр.н.} + L_{ор} = 0,0046 + 2 \times 0,076 \times 10^{-3} + 0,001 = 0,005752 \text{ Гн}$$

Электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_{\sigma} = T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{5,752 \times 10^{-3}}{0,1178} = 0,0488 \text{ с}$$

Электромеханическая постоянная времени электропривода рольганга без металла

$$T_{м1} = \frac{J_{экс1} \times R_{яц}}{C^2} = \frac{73,25 \times 0,1178}{8,036^2} = 0,1336 \text{ с}$$

Электромеханическая постоянная времени загруженного рольганга слитком:

$$T_{m2} = \frac{105.25 \times 0,1178}{8,036^2} = 0,192c$$

Определим отношение электромеханической и электромагнитной постоянных времени привода:

$$\frac{T_{m1}}{T_{яц}} = \frac{0,1336}{0,0488} = 2,738$$

$$\frac{T_{m2}}{T_{яц}} = \frac{0,192}{0,0488} = 3,934$$

Полученные значения говорят об имеющемся влиянии ЭДС двигателя на процессы в контуре тока.

#### 2.1.4 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода расположена в 4-х квадрантах и ограничивается значениями скорости  $\pm \omega_{ЭП.МАКС} = 51 \frac{rad}{c}$  и тока  $\pm I_{ЭП.МАКС} = 720A$ . Предельные характеристики (при углах  $a_{МИН}$  и  $a_{МАКС}$ ) должны обеспечивать выполнение заданной области работы во всех режимах управления и нагрузки привода.

Порядок проверки принят согласно методике изложенной в [16].

Значение минимального угла управления преобразователем в выпрямительном режиме

$$a_{min} = \arccos \frac{C \times \omega_{max} + I_{ДВ.Н} \times R_{яц}}{k_{UC} \times E_{d0}} = \arccos \frac{8,036 \times 51 + 274 \times 0,1178}{0,9 \times 553,9} = 27,52^\circ. \text{ где}$$

$k_{UC} = 0.9$  - коэффициент, учитывающий возможное снижение напряжения питающей сети.

Принимаем  $a_{min} = 25^\circ$

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

$$E_{ТП.МАКС} = E_{d0} \times \cos a_{MIN} = 533 \times \cos a_{MIN} = 502B$$

$$a_{МАКС} = \arccos \frac{\frac{\alpha \times R_{ТП} \times I_{ЭП.МАКС}}{C} - \cos d \frac{\ddot{\phi}}{\emptyset}}{k_{UC} \times E_{d0}} =$$

$$= \arccos \frac{\frac{\alpha \times 0,0341 \times 720}{C} - \cos 5^\circ \frac{\ddot{\phi}}{\emptyset}}{0,9 \times 553} = 153 \text{ эл.град.}$$

где  $d = d_1 + d_2 = 1,8 + 3 = 4,8^\circ$  ;

$$d_1 = \frac{180 \times w_c \times t_g}{\rho} = \frac{180 \times 314 \times 100 \times 10^{-6}}{\rho} = 1,8^\circ - \text{угол, соответствующий}$$

времени восстановления запирающих свойств вентиля  $t_B$ , град;

$t_B = 100 \text{ мкс}$  - время восстановления запирающих свойств вентиля;

$d_2 = 3^\circ$  - предельно допустимое значение асимметрии импульсов управления;

Принимаем  $d = 5^\circ$

Принимаем  $a_{МАКС} = 155 \text{ эл.град.}$

При выбранном значении  $\alpha_{min}$  рассчитывается и строится электромеханическая характеристика системы преобразователь - двигатель (характеристика Присунок 6)

$$w_{ДВ}(I_{дв}) = \frac{1}{C} (k_{UC} \times E_{d0} \times \cos a_{min} - R_{яц} \times I_{дв}) = \frac{1}{8,036} (0,9 \times 553,9 \times \cos 25^\circ - 0,1178 \times I_{ДВ})$$

Результаты расчета сведены в таблицу 7

Рассчитываем и строим электромеханическую характеристику при работе токопроводящей группы в режиме предельного инвертирования (характеристика Присунок 6).

$$w_{ДВ}(I_{дв}) = \frac{1}{C} (k_{UC} \times E_{d0} \times \cos d + (R_{ТП} - R_{Ц.ДВ}) \times I_{дв}) =$$

$$= \frac{1}{8,036} \times (0,9 \times 553,9 \times \cos 5^\circ + (0,0341 - 0,0837) \times I_{дв})$$

где  $I_{ДВ} \in 0$

Результаты расчёта сведены в таблицу 7.

Рассчитаем и построим электромеханические характеристики разомкнутой системы электропривода при работе преобразователя в инверторном режиме при максимальном угле (характеристика III рисунок 6)

$$w_{ДВ}(I_{дв}) = \frac{1}{c} (-k_{UC} \times E_{d0} \times \cos a_{МАКС} - R_{яц} \times I_{ДВ}) =$$

$$= \frac{1}{8,036} (-k_c \times 553,9 \times \cos 155^\circ - 0,1178 \times I_{ДВ})$$

где  $I_{ДВ} \in 0$ .

Результаты расчёта сведены в таблицу 7. По характеристикам рисунка 6 видно, что разомкнутая система электропривода обеспечивает заданную область работы.

Таблица 7. – Данные расчёта электромеханических характеристик.

Характеристики	I		II		III	
	0	720	0	-720	0	-720
$I_{ДВ}, A$	0	720	0	-720	0	-720
$w_{ДВ}, \frac{pac}{c}$ при $\kappa_C = 0,9$	56,22	45,66	61,8	68,67	56,22	62,47
$w_{ДВ}, \frac{pac}{c}$ при $\kappa_C = 1,0$	62,47	51,92	66,24	73,1	66,78	73,02

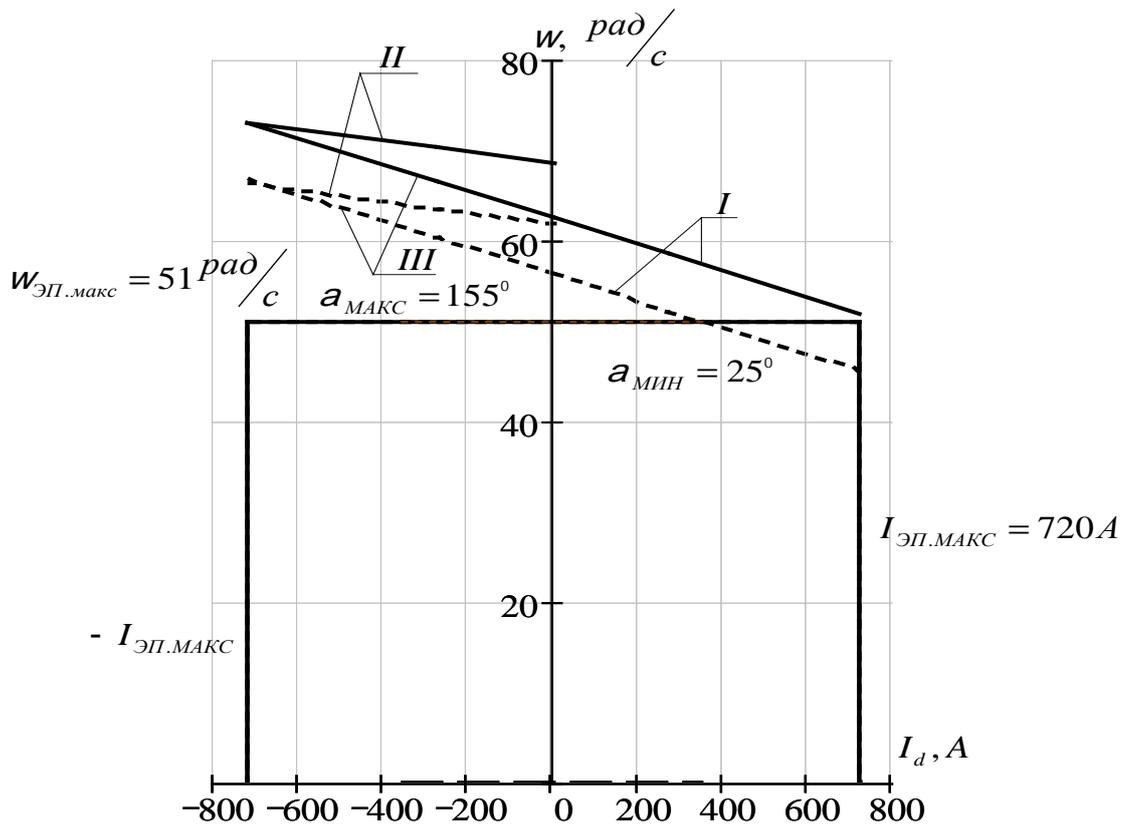


Рисунок 6 Заданная область работы и электромеханические характеристики разомкнутой системы ТП-Д (сплошными линиями приведены характеристики при  $k_{UC} = 1.0$ )

## 2.2 Расчёт электромеханических характеристик системы УВ-Д

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \times R_{яц} - DU_{\theta}}{c},$$

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

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

$DU_{\theta}$  – 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:

$$a(\omega) = \arccos \frac{E_{d0} \cos \alpha + I_d R_{яц} + DU_e}{E_{d0}}$$

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

$$\omega(I) = \frac{E_{d0} \cos(a(\omega)) - I R_{яц} - DU_e}{c}$$

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:

$$q_0(\alpha) = \frac{180}{\rho} \times \frac{\alpha}{\pi} a(\omega) + \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\rho}{m_e} \frac{\omega}{\omega_0}$$

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

$$e(a) = \cos \frac{\alpha}{\epsilon} q \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \times$$

$$\frac{\sin \frac{\alpha}{\epsilon} (q_0(a) - q) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} - \sin \frac{\alpha}{\epsilon} (q_0(a) + l - q) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} e^{l \times \frac{\rho}{180} \times \cot \frac{\alpha}{\epsilon} q \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\theta}}}{1 - e^{l \times \frac{\rho}{180} \times \cot \frac{\alpha}{\epsilon} q \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\theta}}}$$

где угол  $l = \frac{2 \times 180}{m_\epsilon} = 60$  град – угол проводимости тиристорov;

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

$$q = \arctan \frac{\alpha w_0 \times L_{яц} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \times 180}{R_{яц} \rho}$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(a) = \frac{m_\epsilon}{2 \times \rho} \frac{\alpha}{\epsilon} \cos \frac{\alpha}{\epsilon} q_0(a) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} - \cos \frac{\alpha}{\epsilon} (l + q_0(a)) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} - l \times \frac{\rho}{180} \times e_{cp}(a) \frac{\ddot{\theta}}{\theta}$$

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

$$w(a) = e(a) \frac{\sqrt{2} \times U_n \times \cos \frac{\alpha}{\epsilon} q_0(a) \times \frac{\rho}{180} - \frac{\rho}{2} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \cdot DU_\epsilon}{c},$$

$$I(a) = i(a) \frac{\sqrt{2} \times U_n \times \cos \frac{\alpha}{\epsilon} q_0(a) \times \frac{\rho}{180} - \frac{\rho}{2} \frac{\ddot{\theta}}{\theta}}{R_{яц}}.$$

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

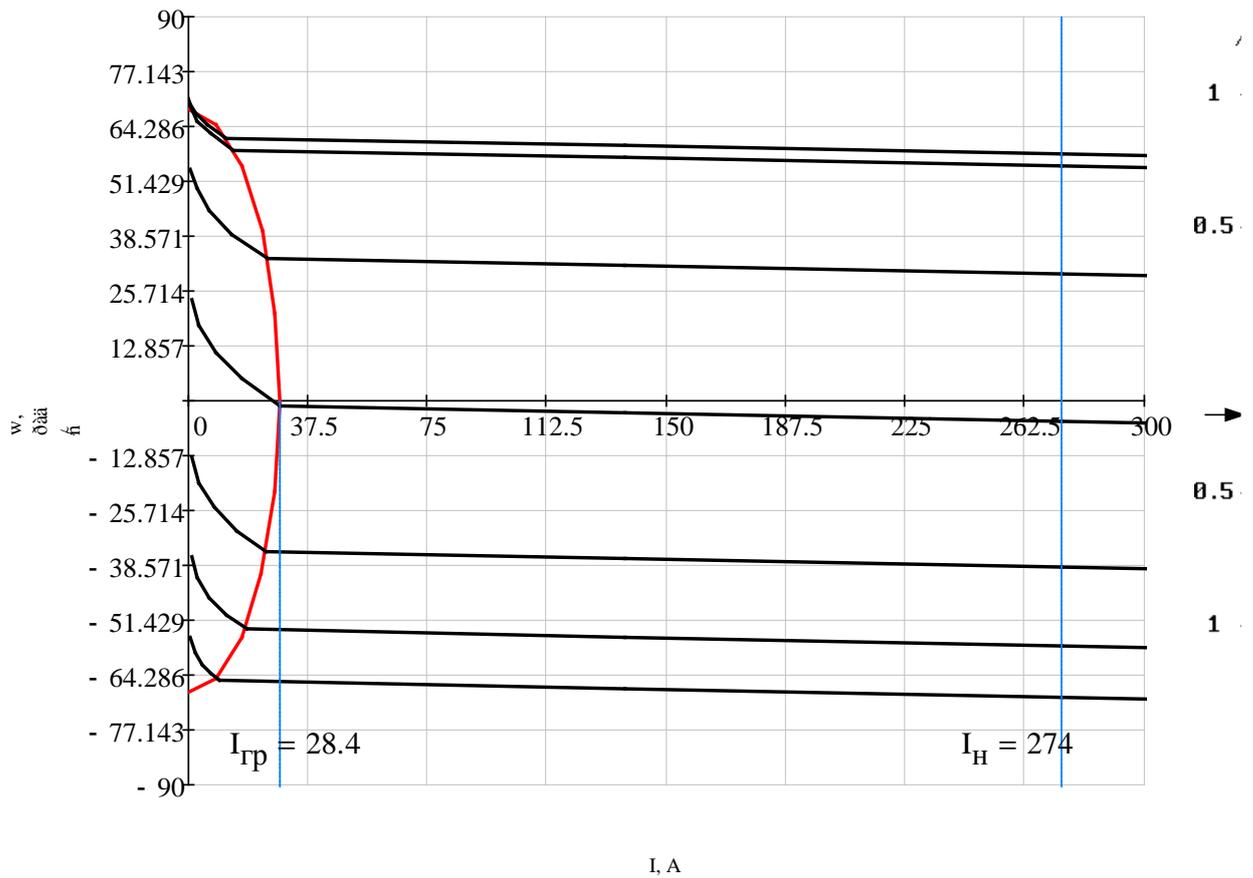


Рисунок 7 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с раздельным управлением

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  $\frac{I_{дсрmax}}{I_{дн}} = \frac{28,4}{274} = 0,104$ ,

что является приемлемым.

### 2.3 Структурная схема силового канала САУ

Структурная схема силового канала электропривода приёмного рольганга приведена на рисунке 8. Параметры элементов схемы приведены в таблице 8.

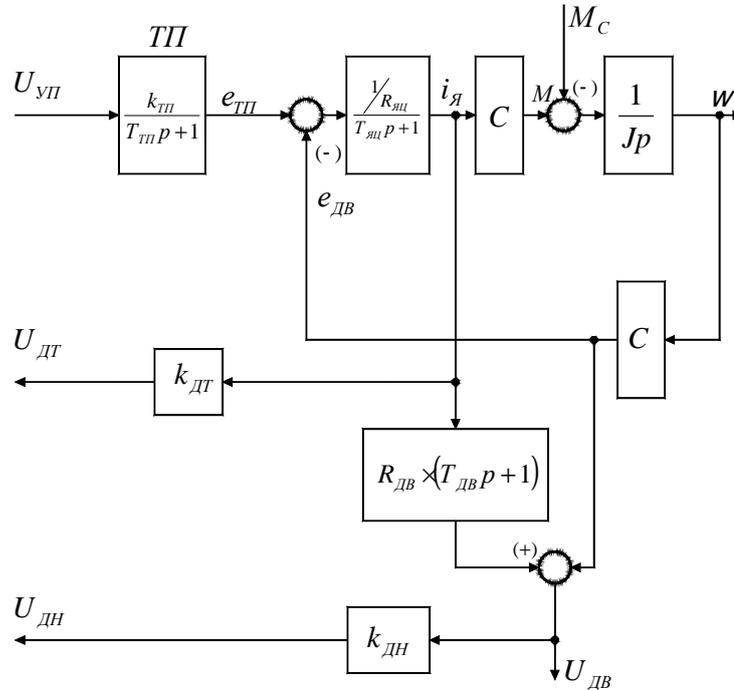


Рисунок 8 – Структурная схема силового канала электропривода приёмного рольганга стана 1250.

Коэффициент передачи датчика тока

$$k_{ДТ} = \frac{U_{ДТ.МАКС}}{I_{МАКС}} = \frac{10}{800} = 0,0125 \text{ В/А},$$

где  $U_{ДТ.МАКС} = 10 \text{ В}$  и  $I_{МАКС} = 800 \text{ А}$  - максимальные значения выходного напряжения и выходного тока при настройке датчика.

Коэффициент передачи датчика напряжения

$$k_{ДН} = \frac{U_{ДН.МАКС}}{U_{МАКС}} = \frac{10}{500} = 0,02$$

где,  $U_{ДН.МАКС} = 10 \text{ В}$  и  $U_{МАКС} = 500 \text{ В}$  - максимальные значения, принятые при настройке датчика

Таблица 8. – Параметры элементов силового канала электропривода

$k_{ТП}$	$R_{яц},$ Ом	$C,$ $\frac{В \times с}{рад}$	$J_{э1},$ $\frac{кг}{м^2}$	$J_{э2},$ $\frac{кг}{м^2}$	$T_{ТП},$ С	$T_{яц},$ С	$k_{дт},$ $\frac{В}{А}$	$k_{дн}$	$R_{дв.гор},$ Ом	$T_{дв},$ С	$L_{яц},$ Гн	$M_x,$ Н × м	$M_c,$ Н × м	$M_{св},$ Н × м
174	0,1178	8,036	73,25	105,25	0,00167	0,0488	0,0125	0,02	0,072	0,064	0,005752	456,3	579,8	2470,3

## 2.4 Синтез линеаризованных структур САУ РЭП

### 2.4.1 Методика синтеза линеаризованных структур САУ РЭП

В настоящее время широкое практическое применение получили системы РЭП постоянного тока с ТП, выполненные в общем случае по многоконтурной структурной схеме с последовательной коррекцией.

Задача синтеза САУ РЭП является в первую очередь задачей динамического синтеза, под которой понимается определение параметров элементов, обеспечивающих требуемые динамические свойства всей системы. В случае, когда заданы структурная схема САУ и параметры механической системы и силовой части электрической системы ЭП, задача сводится к определению параметров корректирующих цепей. Эта задача не является однозначной, поэтому важен выбор метода расчета, который, обладает простотой и наглядностью, позволял бы рассмотреть несколько вариантов и выбрать наиболее рациональный. Этим требованиям удовлетворяют методы расчета САУ, базирующиеся на использовании ЛХЧ.

На этапе предварительного синтеза САУ РЭП используются линеаризованные характеристики системы и ее элементов и соответственно методы синтеза линейных систем. При синтезе по заданным показателям качества определяют желаемые частотные характеристики системы и характеристики корректирующих цепей. При проектировании

электроприводов, выполненных по многоконтурной структуре с последовательной коррекцией, для построения желаемых ЛЧХ контуров получили распространение настройки на оптимум по модулю (технический оптимум) и симметричный оптимум.

#### 2.4.2 Линеаризованная структура САУ РЭП

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

Структура САУ РЭП приемного рольганга представляет собой двухконтурную систему подчиненного регулирования с регулятором ЭДС и регулятором тока (однократно-интегрирующая система), которая характеризуется значительной погрешностью скорости. Тиристорный преобразователь аппроксимирован инерционным звеном с некоторой фиктивной малой постоянной времени  $T_{III}$ .

Ограничение тока силовой цепи в системе подчиненного регулирования достигается ограничением на соответствующем уровне выходного напряжения регулятора ЭДС. Предел ограничения тока постоянный.

Синтез САУ РЭП обычно осуществляется при пренебрежении влияния внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя, что, строго говоря, допустимо только при выполнении условия  $T_M / T_{яц} \gg 1$ .

Структурная схема линеаризованной САУ РЭП приемного рольганга представлена на рисунке 9.

В структурной схеме приняты следующие обозначения:

РЭ – регулятор ЭДС;

РТ – регулятор тока;

$$W(p)_{mn} = \frac{K_{ТП}}{T_{ТП} \times p + 1} - \text{передаточная функция ТП};$$

$$W(p)_{\text{дв}} = \frac{C}{R_{яц} \times (T_{яц} p + 1) \times Jp} - \text{передаточная функция электродвигателя};$$

$$W(p)_{\text{ФН}} = \frac{1}{T_{\text{ФН}} \times p + 1} - \text{передаточная функция фильтра на выходе}$$

датчика напряжения.

Величина  $T_{ТП}$  фактически определяется инерционностью фильтров в контуререгулирования тока, системы импульсно - фазового управления, а также самого ТП, а численно может быть принята равной сумме малых постоянных времени аperiodических звеньев, которыми в первом приближении могут быть аппроксимированы эти элементы.

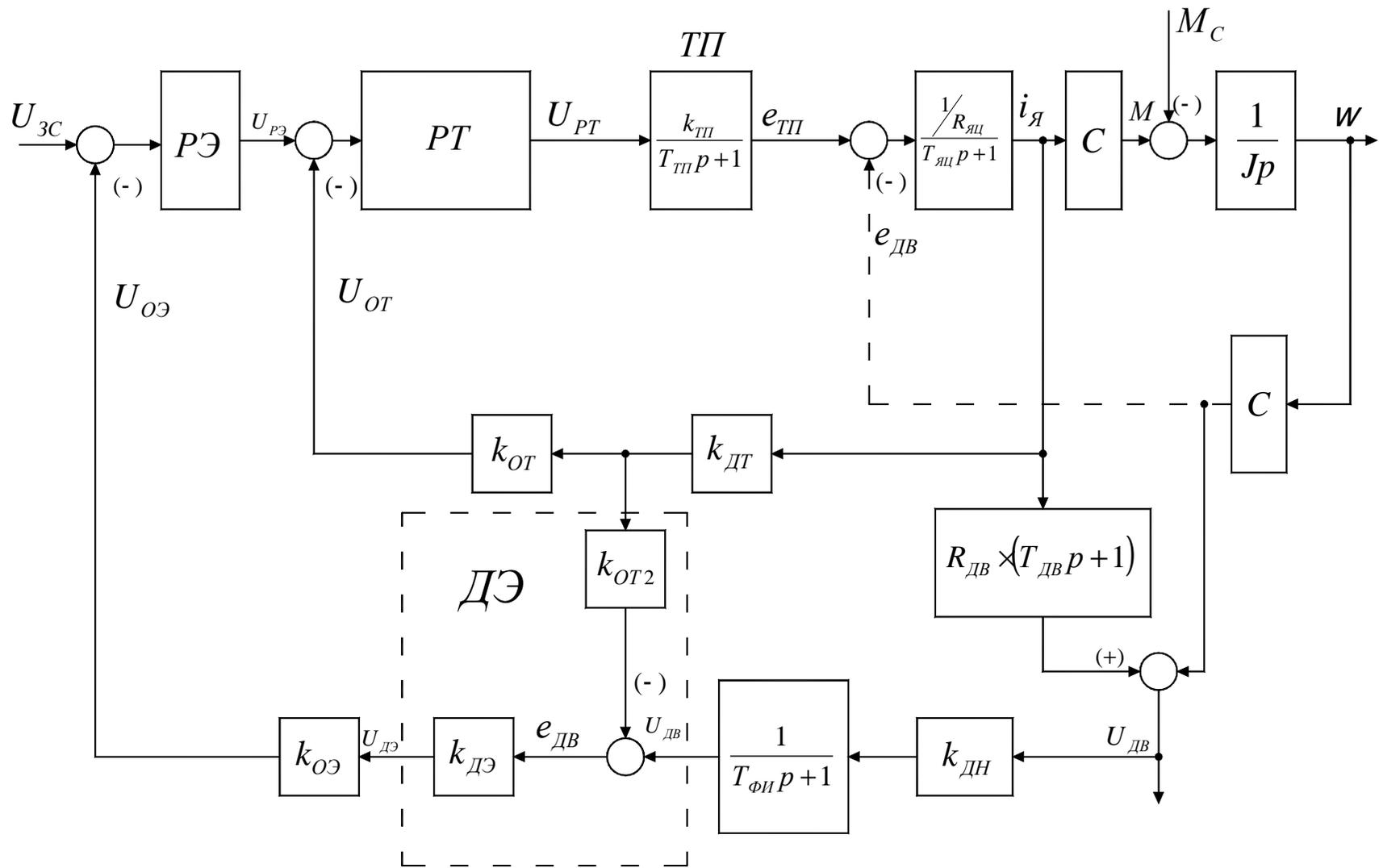


Рисунок 9– Структурная схема линейризованной САУ РЭП приемного рольганга

## 2.5 Настройки контуров САУ электропривода

Методика синтеза многоконтурных систем автоматического управления регулируемым электроприводом хорошо разработана для линейных систем. Синтез проводится для типовых структур подчиненного регулирования. При синтезе пренебрегаем влиянием обратной связи по ЭДС двигателя (показано пунктиром на рисунке 10)

Приводим систему к типовой структуре, двухконтурной схемы подчиненного регулирования с П–РЭ и ПИ–РТ, с внешним контуром скорости и внутренним контуром тока.

### Оптимизация контура тока

Внутренний контур системы регулирования тока якоря включает в себя регулятор тока и объект регулирования, в который входят:

- тиристорный преобразователь,
- якорная цепь двигателя,
- датчик тока.

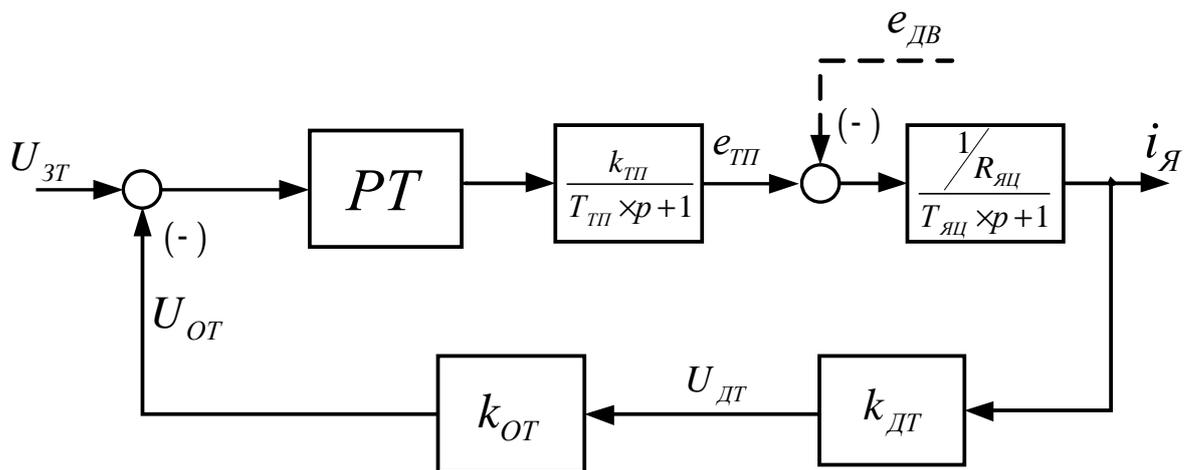


Рисунок 10 – Структурная схема контура регулирования тока

Контур тока настраиваем на модульный оптимум (M0)

Малая постоянная времени в контуре тока

$$T_{от} = T_{тп} = 0,00167$$

Принимаем ПИ–регулятор с передаточной функцией

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

Требуемое значение коэффициента обратной связи по току двигателя определяется по выражению

$$k_T = \frac{U_{ЭТ.МАКС}}{I_{Я.МАКС}} = \frac{10}{720} = 0,0139 \text{ В/А}.$$

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{PT} = T_{ЯЦ} = 0,0488 \text{ с}.$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{PT} = \frac{T_{ЯЦ} \times R_{ЯЦ}}{k_{ТП} \times k_T \times a \times T_{ПТ}} = \frac{0,0488 \times 0,1178}{174 \times 0,0139 \times 2 \times 0,00167} = 0,712$$

где  $a_T=2$  – коэффициент оптимизации по МО.

Коэффициент входной цепи обратной связи регулятора тока

$$k_{ОГ1} = \frac{k_T}{k_{ДТ}} = \frac{0,0139}{0,0125} = 1,112$$

Передаточная функция замкнутого оптимизированного контура тока по управлению имеет вид:

$$\begin{aligned} W(p)_{Т.ЗАМ} &= \frac{1/k_T}{a_M \times T_{ПТ} \times p \times (T_{ПТ} \times p + 1) + 1} = \frac{1/k_T}{a_M \times T_{ПТ}^2 \times p^2 + a_M \times T_{ПТ} \times p + 1} = \\ &= \frac{1/0,0139}{2 \times 0,00167^2 \times p^2 + 2 \times 0,00167 \times p + 1} = \frac{71,94}{5,578 \times 10^{-6} \times p^2 + 3,34 \times 10^{-3} \times p + 1}. \end{aligned}$$

По выражению передаточной функции замкнутого оптимизированного контура тока рассчитаны с применением программы Matlab (см. рисунок 10)

Ожидаемые показатели качества работы замкнутого контура тока:

- установившаяся ошибка  $\Delta I_{уст} = 0$ ;
- перерегулирование  $\sigma = 4,3 \%$ ;
- время первого согласования  $t_{py1}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu m} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847 \text{ с}$ ;

- время переходного процесса при обработке ступенчатого управляющего воздействия  $t_{py2}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu m} = 0,006847c$ ;

- полоса пропускания по модулю и фазе

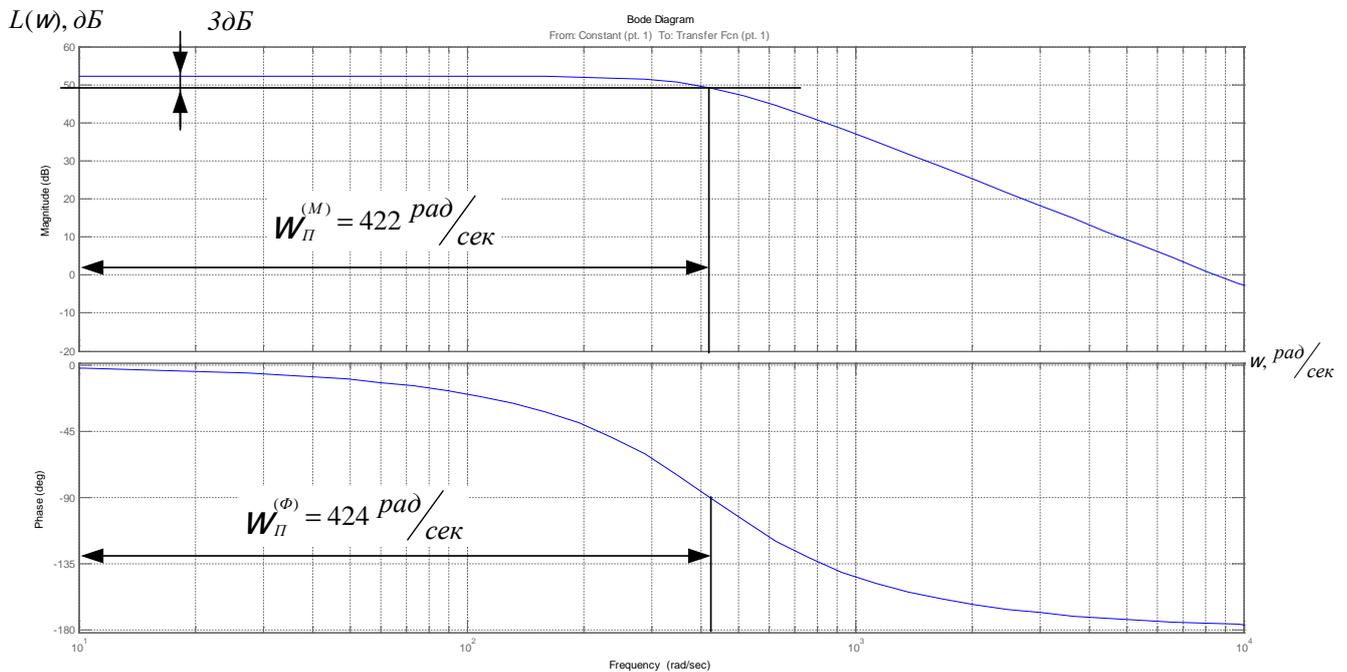


Рисунок 10 – ЛЧХ замкнутого контура тока

$$W_n^{(M)} = W_n^{(\Phi)} = \frac{0,71}{T_{m}} = \frac{0,71}{0,00167} = 425,15 \text{ рад/с}$$

ИЛИ

$$f_n^{(M)} = f_n^{(\Phi)} = \frac{W_n^{(\Phi)}}{2\rho} = \frac{425,15}{2\rho} = 67,67 \text{ Гц}.$$

По ЛЧХ замкнутого контура тока находим значение частоты пропускания контура

$$W_n^{(M)} = W_n^{(\Phi)} = 10^{2,625} = 422 \text{ рад/с}$$

ИЛИ

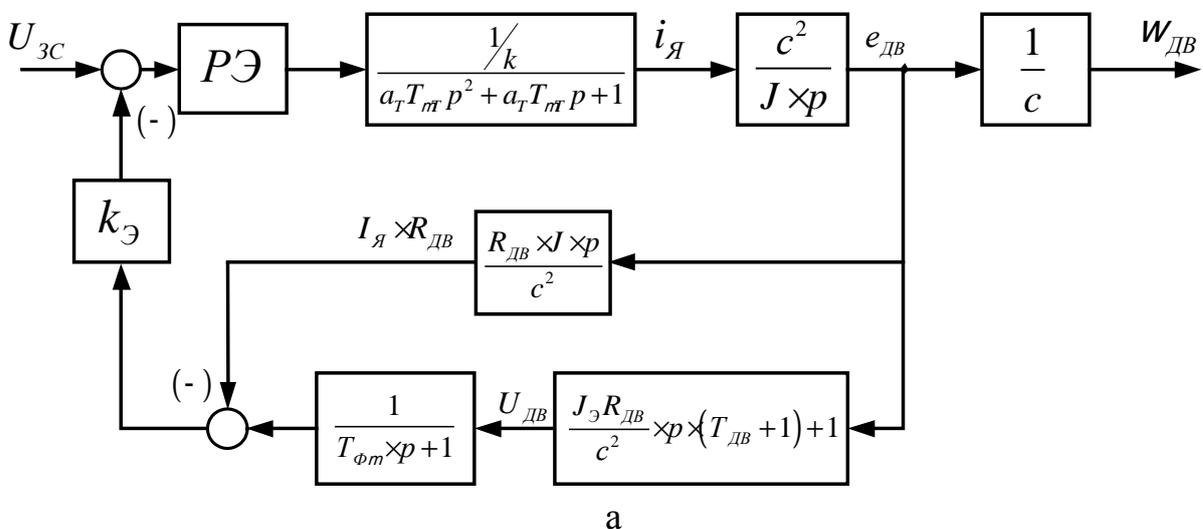
$$f_n^{(M)} = f_n^{(\Phi)} = \frac{W_n^{(\Phi)}}{2\rho} = \frac{422}{2\rho} = 67,163 \text{ Гц}.$$

## Контур ЭДС

При отсутствии высоких требований к точности, поддержания скорости для электроприводов без регулирования потока возбуждения применяется обратная связь по ЭДС. Измерение ЭДС производится путем суммирования сигнала, пропорционального напряжению двигателя, с сигналом токовой компенсации, пропорциональным падению напряжения на активном сопротивлении якоря двигателя. Структурная схема, контура ЭДС приведена на рисунке 11а. Если в структурной схеме рис.11а замкнутый контур тока описать усеченной передаточной функцией и выполнить условие

$$k_{от2} = \frac{R_{дв} \times k_{дн}}{k_{дт}} = \frac{0,072 \times 0,02}{0,0125} = 0,1152.$$

то она преобразуется к виду, показанному на рисунке 15б, где должно быть принято  $T_{\phi н} = T_{дв}$ . Наличие аperiodического звена в цепи обратной связи вызывает необходимость включения на входе системы такого же звена с постоянной времени  $T_2 = T_{дв}$  для исключения повышенного перерегулирования тока при обработке управляющего воздействия.



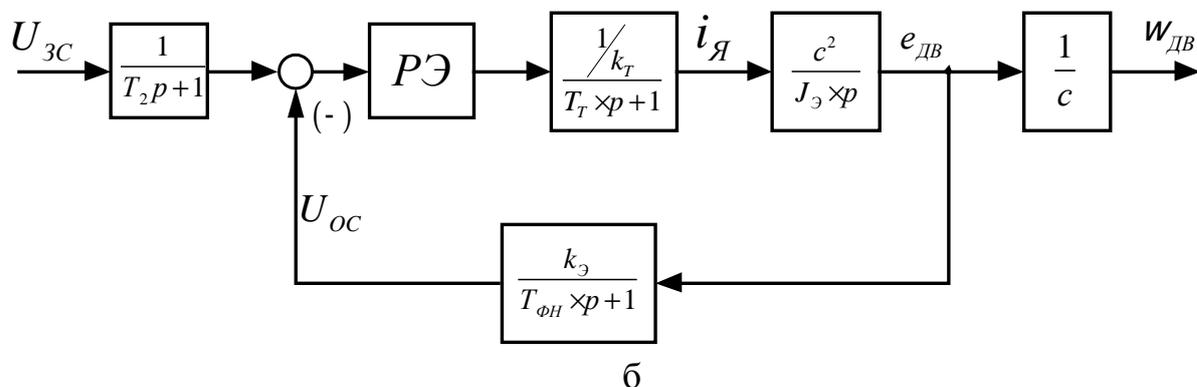


Рисунок 11 Структурная схема, контура ЭДС: а – исходная б – упрощенная.

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

$$W(r)_{PЭ} = K_{PЭ},$$

где

$$K_{PЭ} = \frac{J_{э2} \times k_T}{k_э \times c^2 \times a_э \times T_{мэ}} = \frac{105,25 \times 0,0139}{0,0238 \times 8,036^2 \times 2 \times 0,0674} = 7,061$$

– коэффициент усиления регулятора ЭДС;

$$k_э = \frac{U_{3.МАКС}}{E_{ДВ.МАКС}} = \frac{10}{420,68} = 0,0238 \text{ – коэффициент обратной связи по ЭДС;}$$

$$T_{мэ} = T_T + T_{ФН} = 0,00334 + 0,064 = 0,0674 \text{ с – малая постоянная времени контура ЭДС}$$

$$T_T = a_T \times T_{мэ} = a_T \times T_{ПП} = 2 \times 0,00167 = 0,00334 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока;

$a_э=2$  – коэффициент оптимизации по МО контура ЭДС;

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи регулятора ЭДС

$$K_{ОЭ} = \frac{K_э}{K_{ДЭ} \times K_{ДН}} = \frac{0,0238}{1 \times 0,02} = 1,19,$$

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

Передаточная функция разомкнутого оптимизированного контура ЭДС и передаточная функция замкнутого по управлению контура с фильтром на входе, записанная относительно скорости двигателя имеет вид:

$$W(p)_{PA3} = \frac{1}{a_{\omega} \times T_{m\omega} \times p \times (T_T \times p + 1) \times (T_{\phi H} \times p + 1)} \gg$$

$$\gg \frac{1}{a_{\omega} \times T_{m\omega} \times p \times (T_T + T_{\phi H}) \times p + 1}$$

$$W(p)_{y.zam} = \frac{\frac{1}{k_{\omega} \times C}}{a_{\omega} \times T_{m\omega} \times p \times (T_T \times p + 1) \times (T_{\phi H} \times p + 1) + 1} \gg$$

$$\gg \frac{\frac{1}{k_{\omega} \times C}}{a_{\omega} \times T_{m\omega} \times p \times (T_T + T_{\phi H}) + 1} + 1$$

Ожидаемые показатели качества работы контура с фильтром на входе в первом приближении:

$s = 4,3\%$  – перерегулирование,

$t^{(5)}_{PV1} = t^{(5)}_{PV2} = 4,1 \times T_{m\omega} = 4,1 \times 0,0674 = 0,276$  с – время первого вхождения в 5% зону и время переходного процесса при отработке ступенчатого входного воздействия;

$w_{\Pi}^{(M)} = w_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{1}{\sqrt{2} \times T_{m\omega}} = \frac{0,71}{0,0674} = 10,53$  рад/с – полоса пропускания по модулю и по фазе.

По выражению передаточной функции замкнутого контура скорости

$$W_{\omega}(p)_{зам} = \frac{5,24}{2,8814848 \times 10^{-5} \times p^3 + 9,077432 \times 10^{-3} \times p^2 + 0,1348 \times p + 1}$$

рассчитаны с помощью прикладной программы Matlab рассчитаны ЛЧХ (см рисунок 12).

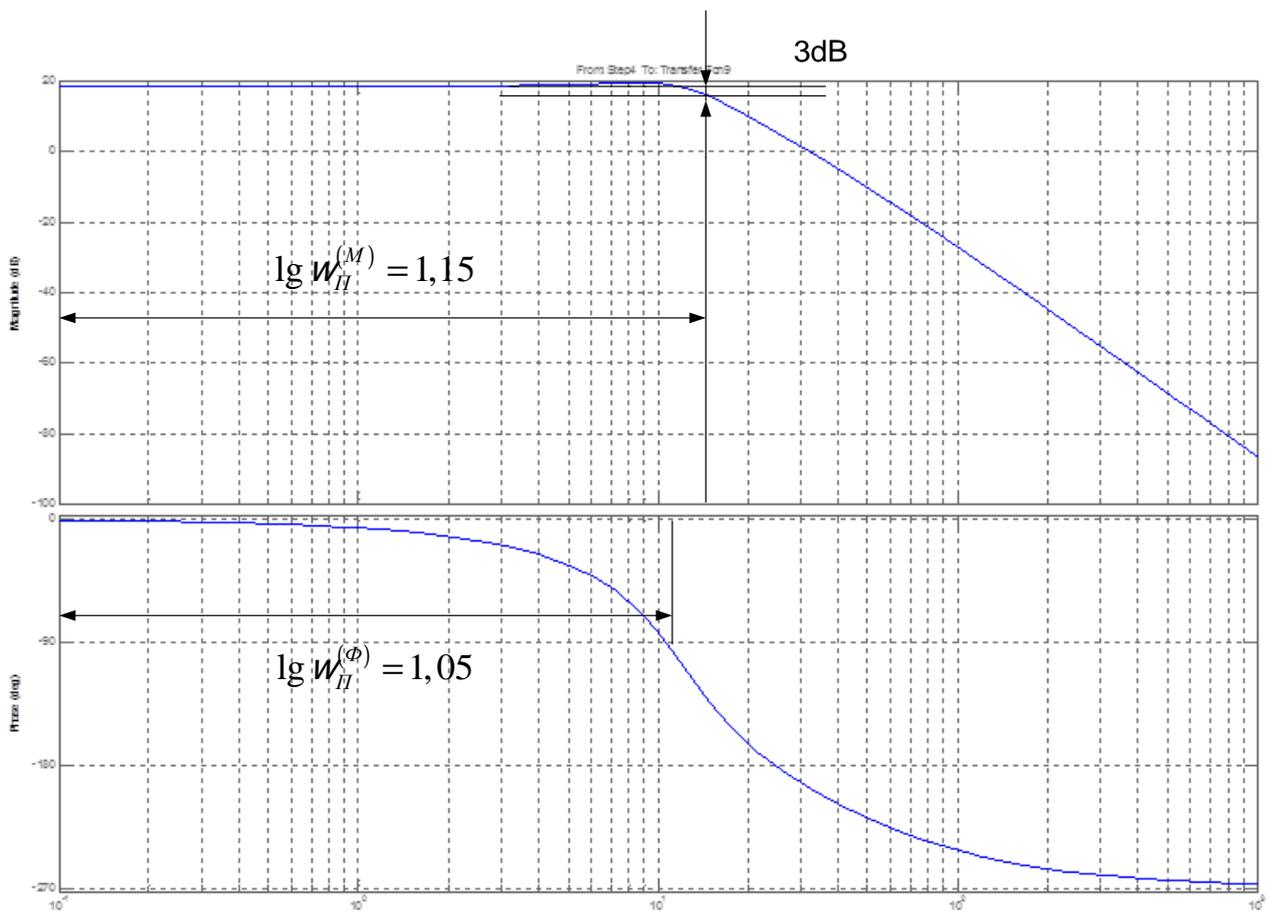


Рисунок 12 ЛАЧХ замкнутого контура ЭДС..

$$w_{II}^{(M)} = 10^{1,15} = 14,13 \text{ рад / с}$$

$$f_{II}^{(M)} = \frac{w_{II}^{(M)}}{2\rho} = \frac{14,13}{6,283} = 2,25 \text{ Гц}$$

$$w_{II}^{(\phi)} = 10^{1,05} = 11,22 \text{ рад / с}$$

$$f_{II}^{(\phi)} = \frac{w_{II}^{(\phi)}}{2\rho} = \frac{11,22}{6,283} = 1,79 \text{ Гц}$$

Ожидаемые ориентировочные показатели качества работы контура ЭДС (скорости) по управлению:

-статическая ошибка

$$Dw_{y,ycm} = 0;$$

-полоса пропускания по фазе и модулю

$$w_n^{(M)} = w_n^{(\phi)} = \frac{0,71}{T_m} = \frac{0,71}{0,05434} = 13,06 \text{ рад/с;}$$

-показатели отработки ступенчатого задания скорости

$s = 4,3\%$  -перерегулирование,

-время первого и окончательного вхождения в 5% зону установившегося значения скорости

$$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} = 4,1T_m = 4,1 \cdot 0,05434 = 0,22 \text{ с}$$

Структурная схема контура ЭДС по возмущению приведена на рисунке 13

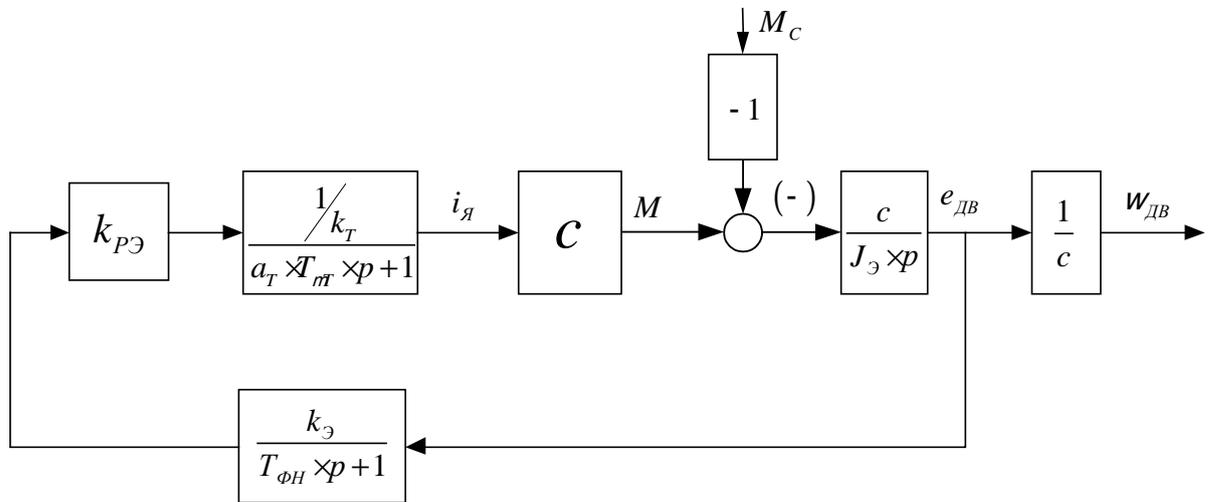


Рисунок 13 – Структурная схема контура ЭДС по возмущению

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

$$W(p)_{B.3AM} = \frac{a_э \times T_m \times (T_T \times p + 1) \times (T_{фн} \times p + 1)}{a_э \times T_m \times p \times (T_T \times p + 1) \times (T_{фн} \times p + 1) + 1}$$

После подстановки численных значений

$$\begin{aligned} W(p)_{B.3AM} &= \frac{2 \times 0,0674}{105,25} \times (0,00334 \times p + 1) \times (0,064 \times p + 1) \\ &= \frac{2,737752 \times 10^{-7} \times p^2 + 8,62464 \times 10^{-5} \times p + 0,00128076}{2,8814848 \times 10^{-5} \times p^3 + 9,077432 \times 10^{-3} \times p^2 + 0,1348 \times p + 1} \end{aligned}$$

Установившаяся ошибка контура по возмущению

$$Dw_{B.YCT} = \frac{a_э \times T_m}{J_э} \times DM_C.$$

При  $DM_C = M_{ДВ.Н} = 2100 \text{ Н} \times \text{м}$

$$Dw_{B.YCT} = \frac{2 \times 0,0674}{105,25} \times 2100 = 2,69 \text{ рад/с}$$

– установившееся значение провала или всплеска угловой скорости привода при набросе или сбросе нагрузки  $DM_c = M_{двн} = 2100 \text{ Нм}$

Динамические и статические показатели системы с обратной связью по ЭДС зависят от величины  $T_{дв}$  и чем она меньше, там они будут ближе к показателям системы с обратной связью по скорости.

## 2.6 Расчет статических характеристик РЭП и погрешности скорости при изменении нагрузки

Структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости (ЭДС) приведена на рисунок 14.

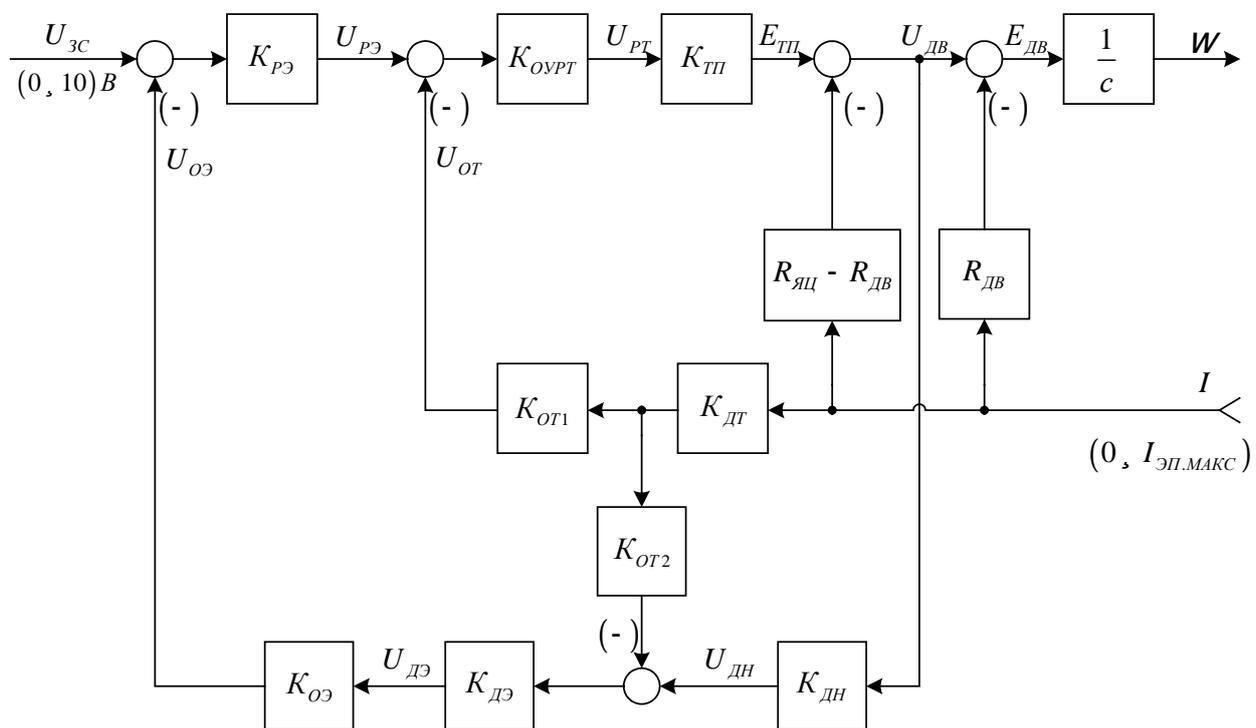


Рисунок 14 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости

Если настройка контуров выполнена в соответствии с изложенной ранее методикой, то схема рисунке 14 упрощается и принимает вид, приведённый на рисунке 15.

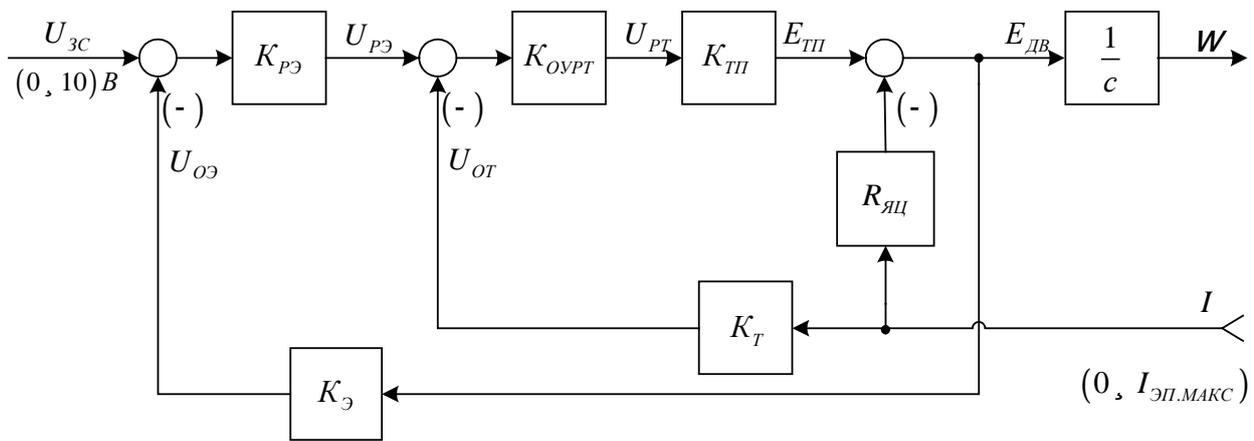


Рисунок 15 – Преобразованная структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости

Схема рисунке 14 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{РЭ} = k_{РЭ}(U_{3C} - U_{ОЭ});$$

$$U_{ОЭ} = k_{Э} \times E_{ДВ}(U_{3C} - U_{ОЭ});$$

$$U_{РТ} = k_{ОУ.РТ} \times (U_{РЭ} - U_{ОТ});$$

$$E_{ТП} = k_{ТП} \times U_{РТ};$$

$$E_{ДВ} = E_{ТП} - R_{ЯЦ} \times I;$$

$$W = \frac{E_{ДВ}}{C},$$

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

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

$$w(I) = \frac{k_{ТП} \times k_{ОУ.РТ} \times k_{РЭ}}{1 + k_{ТП} \times k_{ОУ.РТ} \times k_{РЭ} \times k_{Э}} \times \frac{U_{3C}}{c} - \frac{R_{ЯЦ} \times I}{c} \times \frac{1 + \frac{k_{ТП} \times k_{ОУ.РТ} \times k_{Т}}{R_{ЯЦ}}}{1 + k_{ТП} \times k_{ОУ.РТ} \times k_{РЭ} \times k_{Э}}$$

Подставив численные значения получим:

$$w(I) = \frac{174 \times 2 \times 10^4 \times 7,061}{1 + 174 \times 2 \times 10^4 \times 7,061 \times 0,0238} \times \frac{U_{3C}}{8,036} - \frac{0,1178 \times I}{8,036} \times \frac{1 + \frac{174 \times 2 \times 10^4 \times 0,0139}{0,1178}}{1 + 174 \times 2 \times 10^4 \times 7,061 \times 0,0238} =$$

$$= w_0(U_{3C}) - D w(I) = 5,228 \times U_{3C} - 0,0103 \times I. \quad (2)$$

Статическая ошибка по управлению

$$Dw_{уст} = w_{зад} - w_{уст} = \frac{U_{зс}}{k_{э} \times c} - 5,228 \times U_{зс} = 0.$$

Погрешность скорости электропривода при изменении нагрузки в % определяется по выражению

$$Dn = \frac{w_0(U_{зс}) - w(I_{дв.н})}{w_0(U_{зс}) + w(I_{дв.н})} \times 100\% = \frac{Dw(I_{дв.н})}{w_0(U_{зс}) + w(I_{дв.н})} \times 100\% \quad (3)$$

При увеличении нагрузки скорость двигателя уменьшается и напряжение регулятора ЭДС увеличивается. Как только регулятор ЭДС входит в насыщение, отрицательная обратная связь по ЭДС переходит в режим стабилизации тока. Структурная схема электропривода для этого режима приведена на рис.16.

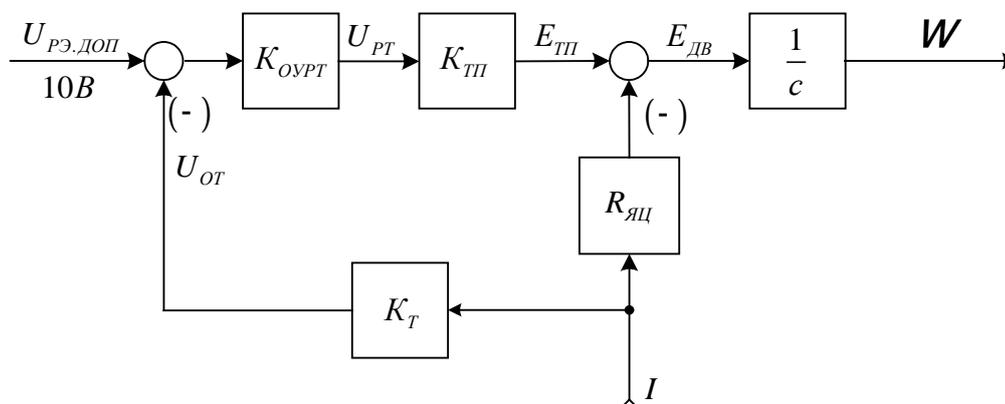


Рисунок 16 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации тока  
Схема рис.16 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{РТ} = (U_{РЭ.ДОП} - U_{ОТ}) \times K_{ОУ.РТ};$$

$$U_{ОТ} = K_T \times I;$$

$$E_{ТП} = K_{ТП} \times U_{РТ};$$

$$I = \frac{E_{ТП} - E_{ДВ}}{R_{ЯЦ}};$$

$$E_{ДВ} = C \times w.$$

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

$$I(\omega) = \frac{k_{OV.PT} \times k_{ТП}}{R_{ЯЦ} + k_{OV.PT} \times k_{ТП} \times k_T} \times U_{PЭ.ДОП} - \frac{c \times \omega}{R_{ЯЦ} + k_{ТП} \times k_{OV.PT} \times k_T}.$$

После подстановки численных значений получим:

$$I(\omega) = \frac{2 \times 10^4 \times 74}{0,1178 + 2 \times 10^4 \times 74 \times 0,0139} \times U_{PЭ.ДОП} - \frac{8,036 \times \omega}{0,1178 + 174 \times 2 \times 10^4 \times 0,0139} =$$

$$= I(\omega=0) - DI(\omega) = 71,942 \times U_{PЭ.ДОП} - 1,661 \times 10^{-4} \times \omega. \quad (4)$$

Точность стабилизации тока при изменении скорости двигателя

$$D\omega = \frac{DI(\omega_{ЭП.МАКС})}{I(\omega=0)} \times 100\%. \quad (5)$$

Задаваясь рядом значений тока  $I$  по выражению (2) рассчитаем статические характеристики привода для нескольких значений  $U_{ЗС}$ . Погрешность скорости от изменения нагрузки определяем по (3). Расчёты сводим в таблицу 9.

Таблица 9

$U_{ЗС}, В$	$\omega, \text{рад}/с$			$D_H, \%$
	$I = 0 А$	$I_{ДВ.Н} = 274 А$	$I_{ЭП.МАКС} = 720 А$	
10	52,286	49,465	44,875	2,772
8	41,829	39,008	34,418	3,489
6	31,371	28,551	23,961	4,706
4	20,914	18,094	13,503	7,23
2	10,457	7,637	3,046	15,586

Задаваясь рядом значений скорости  $\omega$  по выражению (4) рассчитаем статическую характеристику привода в режиме стабилизации тока. Погрешность поддержания допустимого тока определяем по (5). Результаты расчёта приведены в таблице 10.

Таблица 10

$\omega, \text{рад}/с$	0	$\omega_{ЭП.МАКС} = \text{рад}/с$	$D_H, \%$
$I, А$	719,998	719,99	$1,177 \times 10^{-3}$

Электромеханические характеристики электропривода приведены на рисунке 17.

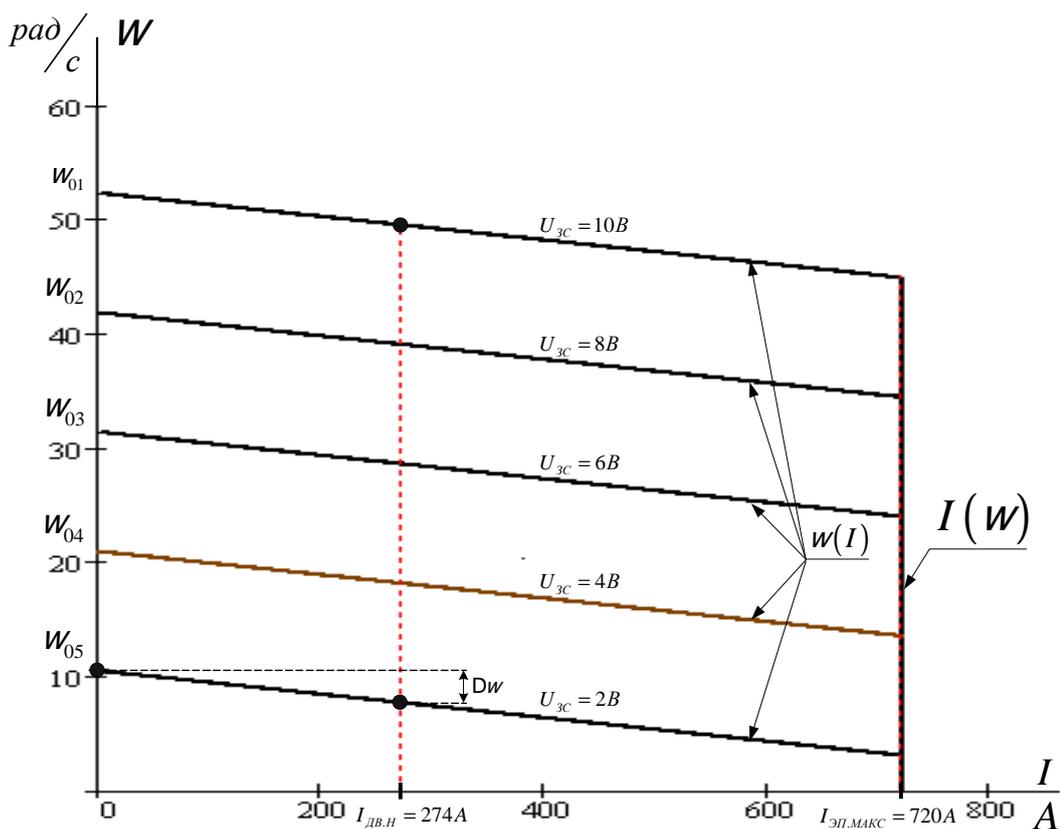


Рисунок 17 – Статические характеристики электропривода

## 2.7 Структурная схема нелинейной САУ РЭП

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

параметров электрической и механической систем, зависящих от времени и других параметров (индуктивность силовой цепи, момент инерции и т.д.).

### Структурная схема нелинейной САУ электропривода

Основными нелинейностями схемы электропривода являются:

- насыщение регуляторов  $U_{р\max}=10В$ ,  $U_{рт\max}=10В$ ;
- насыщение тиристорного преобразователя, вызванное ограничением минимального угла управления,

$$E_{ТП.МАКС} = E_{d0} \times \cos \alpha_{МИН} = 553,9 \times \cos 25^{\circ} = 502. В$$

- реактивный характер момента сил трения

$$M_c(\omega) = M_c \times \text{sign} \omega;$$

- токоограничение, которое осуществляется ограничением входного напряжения регулятора ЭДС

$$U_{р\text{э.доп}} = K_T \times I_{ЭП.МАКС} = 0,0125 \times 720 = 10. В;$$

- специфические особенности тиристорного преобразователя.

Структурная схема нелинейной РЭП электропривода приемного рольганга приведена на рисунке 18. Параметры структурной схемы приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Параметры элементов структурной схемы САУ ЭП

$T_{фн}$	$K_{р\text{э}}$	$K_{рт}$	$T_{тп}$	$K_{тп}$	$T_{тп}$	$1/R_{яц}$	$R_{яц}$	$T_{яц}$
с			с		с		Ом	с
0,064	7,061	0,712	0,0016 7	174	0,0016 7	8,49	0,1178	0,0488
$T_{зит}$	$R_{дв}$	$T_{дв}$	$K_{дн}$	$K_{дт}$	$K_{от1}$	$T_{зис}$	$K_{дэ}$	$K_{оэ}$

с	Ом	с		$\frac{B}{A}$		с		
0,0263	0,072	0,064	0,02	0,0125	1,112	1,5	1	1,19
$e_{2\text{МАКС}}$	$K_{y0}$	$M_x$	$M_c$	$M_{cB}$	$L_{яц}$	$L_{дв}$	$E_{тпмакс}$	С
В		Í ÷	Í ÷	Í ÷	мГн	мГн	В	В*с/па д
578,9	0,475	456,3	137	2470,3	5,752	4,6	502	8,036
$T_{рт}$		$K_{от2}$		$J_{э1}$		$J_{э2}$		
с				êã÷ <sup>2</sup>		êã÷ <sup>2</sup>		
0,0488		0,1152		73,25		105,25		

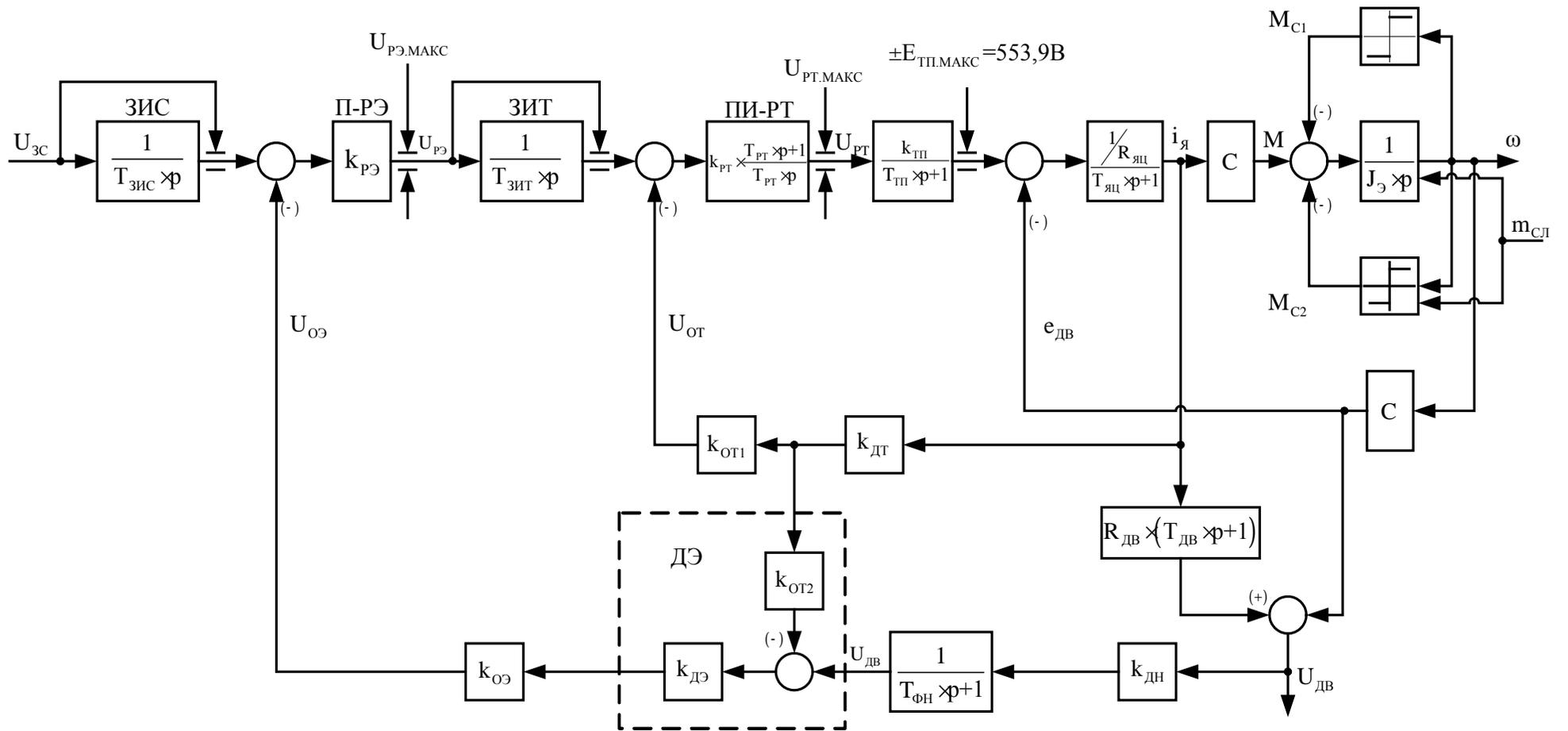


Рисунок 18 – Структурная схема нелинейной САР РЭП

## 2.8 Расчет переходных процессов

Расчет переходных процессов в системах регулируемого однофазного электропривода постоянного тока нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный, выполненного по структурной многоконтурной схеме с последовательной коррекцией, выполняется на ЭВМ по программе Matlab.

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

Схема набора представлена на рисунке 19.

Диаграммы цикла работы электропривода приёмного рольганга представлена на рисунке 20.

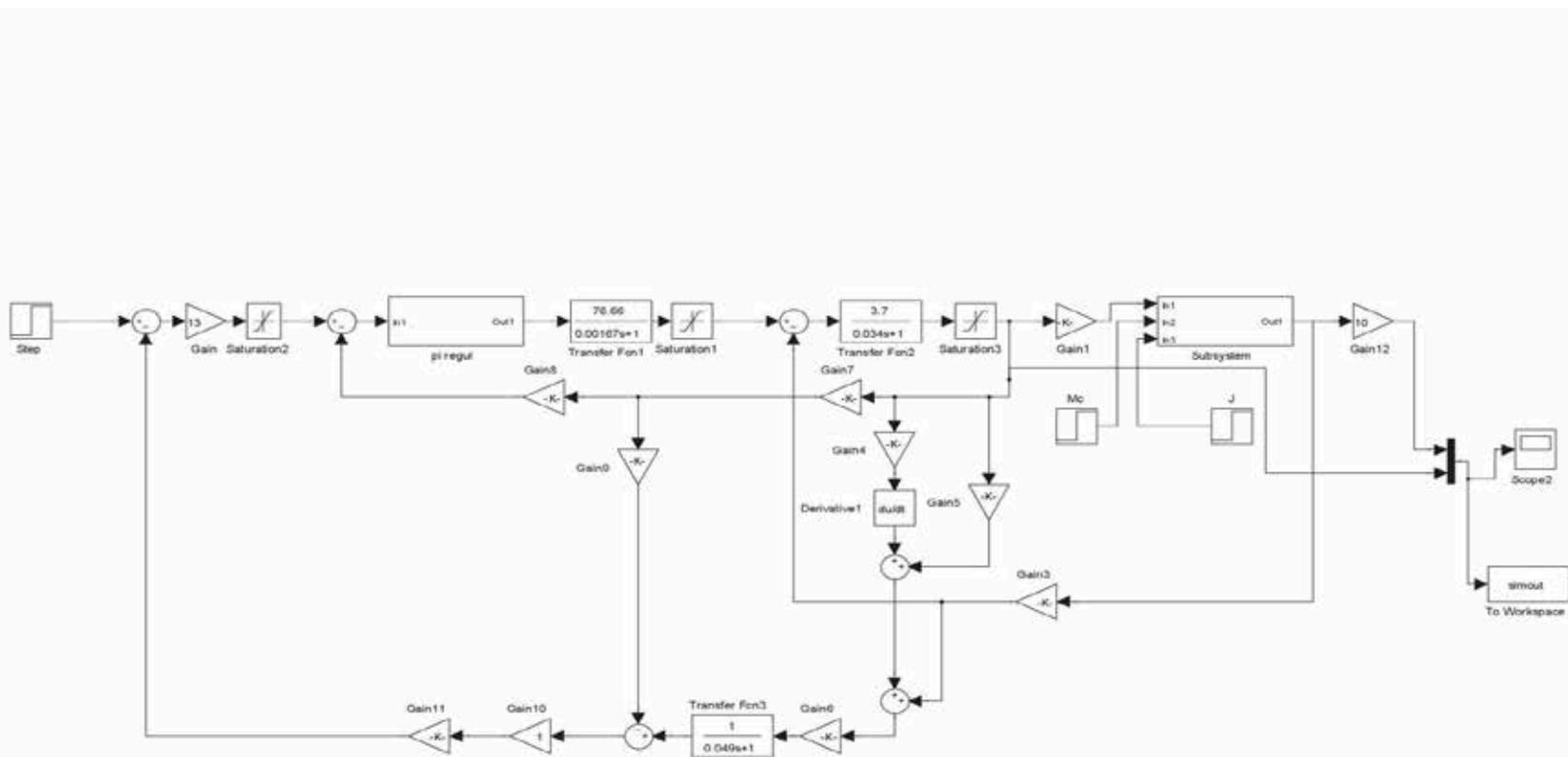


Рисунок 19-Схема набора в программной среде Matlab/

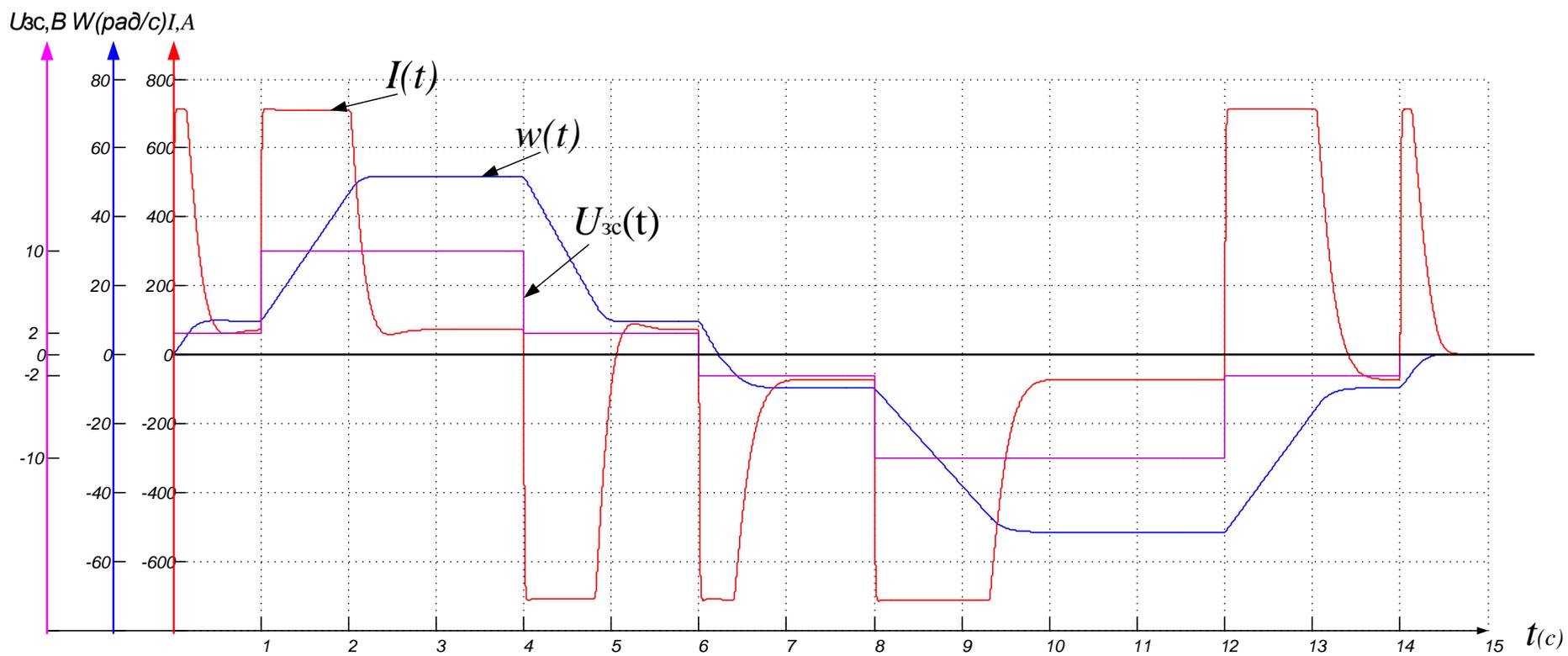


Рисунок 20 – Диаграммы цикла работы электропривода приёмного роляганга

## 2.9. СИСТЕМА ЗАЩИТ И СИГНАЛИЗАЦИИ

Система защит и сигнализации предназначена для комплектного тиристорно-го электропривода при аварийных режимах привода и сигнализации: при аварийных отключениях дифференциального по видам защит, при появлении сигналов неисправности по каналам предупредительной сигнализации, о состоянии основных коммутационных аппаратов, о наличии силового напряжения и напряжения собственных нужд, о готовности электропривода к работе, а также обеспечения блокировки включения электропривода при неправильных действиях обслуживающего персонала.

Система защит и сигнализации (СЗС) электропривода приемного рольганга обеспечивает следующие виды защит:

- от внутренних коротких замыканий;
- при превышении мгновенного значения тока предельной величины;
- при аномальных режимах сети собственных нужд;
- при опрокидывании и прорыве инвертора;
- при аварийной перегрузке тиристоров по среднеквадратичному току;
- при исчезновении и недопустимом снижении силового напряжения;
- при недопустимом превышении напряжения на якоре двигателя;
- от перегрузки двигателя, превышающей величину, заданному в течении определенного времени - до 20с (при недопустимом времени стоянки двигателя под током);
- при неисправности источников питания;
- при превышении допустимой скорости вращения электродвигателя;

- При срабатывании защит во всех случаях выдается дифференцированный световой сигнал сигнализации первой неисправности с последующим запоминанием каждого сигнала.

Система защит и сигнализации имеет индикацию:

- о положении автоматических выключателей на стороне постоянного и переменного тока;
- о наличии силового напряжения и напряжения собственных нужд;
- о готовности электропривода к работе;
- об аварийном отключении дифференцированно по видам защит и срабатывания устройства динамического торможения;
- о появлении неисправности, привлекающей внимание обслуживающего электротехнического персонала.

Комплектный тиристорный электропривод имеет следующие блокировки:

- блокировку включения при наличии любого аварийного сигнала;
- блокировку включения на вращающийся электродвигатель;
- блокировку от включения электродвигателя на преобразователь при наличии напряжения на входных зажимах преобразователя;
- блокировку при неправильной сборке схемы электропривода.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б1	Попова Ольга Николаевна

Школа	Инженерная школа энергетики(ИШЭ)	Отделение	Электропривода и электрооборудования (ЭПЭО)
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (ЭОО)

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых и информационных	"Положению об оплате труда ТПУ". Приказ 25.05.2016 №5994
2. Продолжительность выполнения ТП	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 98 рабочих дней.

### 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

### 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
3-5Г4Б1	Попова Ольга Николаевна		

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

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технологического проекта при помощи SWOT-анализа;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- расчет затрат на проведение проектной работы;
- определение ресурсосберегающей эффективности проекта.

#### **3.1 SWOT-анализ электропривода приемного рольганга**

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [18].

Согласно проекту по разработке электропривода рольганга, SWOT-анализ даст возможность проанализировать сильные и слабые стороны проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы. При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Возможности – включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза – представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

Матрица SWOT – анализ приведена ниже в таблице 12.

Таблица 12 – Матрица SWOT-анализ

	Сильные стороны: С1.Высокое быстродействие. С2. Повышенная перегрузочная способнонь. С3.Электродинамическое торможение. С4. Дистанционное управление электроприводом. С5. Защита оборудования в аварийных режимах	Слабые стороны: Сл1. Низкая скорость перемещения. Сл2. Высокая себестоимость оборудования. Сл3.Ширина приводных рольгангов ограничена длиной ролика.
--	---	---

<p>Возможности:</p> <p>В1. Экономия мощности энергоблоков</p> <p>В2. Уменьшение себестоимости путем усовершенствование новых технологий.</p> <p>В3. Добавочное питание электропривода.</p> <p>В4. Увеличение стоимости конкурентоспособных систем.</p>	<p>В1С1С2С3С4;</p> <p>В2С1С2С4С5;</p> <p>В3С1С4С5;</p> <p>В4С1С2С5.</p>	<p>В1Сл2;</p> <p>В2Сл1;</p> <p>В3Сл2.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Исчезновение энергии электропривода.</p> <p>У2. Критические изменения в отношениях с поставщиками. У3. Ввод специальных государственных правил к стандартизации и сертификации изделий.</p> <p>У4. Нехватка финансового обеспечения со стороны государства.</p>	<p>У1С1С3;</p> <p>У2С5;</p> <p>У3С1;</p> <p>У4С3.</p>	<p>У1Сл3;</p> <p>У2Сл2;</p> <p>У3Сл2.</p>

Кроме того, нужно выявить соответствие сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды для определения необходимости стратегических изменений. Для этого необходимо построить матрицы проекта, таблица 13.

Таблица 13 – Интерактивная матрица возможностей

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

Следующий шаг при анализе проекта: выявление сильных/слабых сторон и угроз таблица 14.

Таблица 14 – Интерактивная матрица угроз

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

Из результатов анализа интерактивных матриц, которые приведены в таблицах 13 и 14, видно, сильной стороной проекта являются надежность, плавность пуска и торможения механизмов, а также производительность. Кроме того, значительная экономия потребляемой электрической энергии и добавочное питание электропривода представляют перспективность проекта в

целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

### **3.2 Планирование и формирование графика работ по реализации 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

Одной из важных частей данного проекта является составление графика проведения ТП, который предназначен для распределения обязанностей по выполнению работ.

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Каждый вид запланированных работ закреплен за соответствующим исполнителем. Весь комплекс работ разобьем на 10 этапов. Номера этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 15.

№1 – составление и утверждение технического задания(ТЗ) – включает в себя формулировку требований к техническому проекту, изучение первичной информации об объекте , составление задания и плана на работу;

№2 – изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№3 – сбор исходных данных – сбор параметров для электропривода рольганга, нагрузок, графиков режимов работы оборудования;

№4 – подготовка и ввод данных в спецпрограмму ЭВМ – составление блок -сем, систем управлений для математического моделирования работы электропривода;

№5 – расчет в среде ЭВМ нагрузок электропривода рольганга – использование пакета программ, которые позволяют исследовать различные подходы и получать решение быстрее, чем с использованием электронных таблиц или традиционных языков программирования;

№6 – выбор оборудования – выбор элементов по основным требованиям технологического процесса;

№7 – расчет элементов электропривода, построение механических и электромеханических характеристик – расчет характеристик электропривода и двигателя, построение графиков режимов работы оборудования;

№8 – проверка правильности выбора оборудования – проверка соответствия расчетных величин электрооборудования с допустимыми значениями;

№9 – оформление пояснительной записки – оформление результатов расчетов в соответствии с требованиями;

№10 – проверка и защита выпускной квалификационной работы - окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовка презентации, размещение пояснительной записки в электронно-библиотечной системе ТПУ, защита выпускной квалификационной работы.

Таблица 15 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Исполнитель
Составление технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	3	Сбор исходных данных	Дипломник
	4	Подготовка и ввод данных в ЭВМ	Дипломник
	5	Расчет на ЭВМ нагрузок электропривода	Дипломник
	6	Выбор оборудования	Руководитель, Дипломник

	7	Расчет элементов электропривода, построение характеристик	Руководитель, Дипломник
	8	Проверка правильности выбора оборудования	Руководитель, Дипломник
Оформление отчета по техническому проектированию и защита ВКР	9	Составление пояснительной записки	Дипломник
	10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем. Подготовка к защите ВКР	Руководитель, Дипломник

### 3.2.1 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 [18]:

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

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

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

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

Результаты продолжительности выполнения работ приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет продолжительности работ, раб.-дн.

№	Содержание работы	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы	Ожидаемая трудоемкость выполнения i-ой работы
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1	1
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	16	23	18
3	Сбор исходных данных	Дипломник	14	24	17
4	Подготовка и ввод данных в ЭВМ	Дипломник	1	1	1
5	Расчет на ЭВМ нагрузок электропривода	Дипломник	1	1	1
6	Выбор оборудования	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	13	20	16
7	Расчет элементов электропривода, построение характеристик	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	1	1	1
8	Проверка правильности выбора оборудования	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	19	26	22
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	8	12	10
10	Проверка и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	7	7	7

### 3.2.2 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.

В результате построения ленточного графика проведения технического проекта в диаграмме Ганта (Рисунок 21), был наглядно и детально представлен

перечень этапов, работ и распределение обязанностей между исполнителями проекта. Данный ленточный график достаточно удобен в построении, прост в прочтении и наглядно отражает затраченное время на этапы работы. Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Продолжительность выполнения технического проекта составила 99 рабочих дней. Из них: 98 дней – продолжительность выполнения работ дипломником; 5 дней – продолжительность выполнения работ научным руководителем.

### **3.3 Расчёт затрат на осуществление технического проекта**

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

- стоимость комплектующих и оборудования;
- стоимость вспомогательных материалов;
- затраты на основную заработную плату;
- затраты на дополнительную заработную плату;
- затраты на отчисления в социальные фонды;
- накладные расходы.

№ этапа работ	Вид работ	Исполнители	$T_{pi}$ , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	-												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	19	—	—											
3	Сбор исходных данных	Дипломник	17			—	—									
4	Подготовка и ввод данных в ЭВМ	Дипломник	1					-								
5	Расчет на ЭВМ нагрузок электропривода	Дипломник	1					-								
6	Выбор оборудования	Руководитель	1						-							
		Дипломник	16					—	—							
7	Расчет элементов электропривода, построение характеристик	Руководитель	1							-						
		Дипломник	1							-						
8	Проверка правильности выбора оборудования	Руководитель	1										-			
		Дипломник	22							—	—					
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	10										—	—		
10	Проверка и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	1													-
		Дипломник	7												—	—

Рисунок 21 – Диаграмма Ганта

### 3.3.1 Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расхi},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

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

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Канцелярский мир”.

Привлечение сторонней организации „Pечат 24” для типографических работ.

Таблица 17 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	1	320	320
Ручка	1	12	12
Брошюровка	1	50	50
Калькулятор	1	220	220
Линейка	1	40	40
Печать	200	1,7	340
USB накопитель	1	218	218
Итого			1200

### 3.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы

В этом разделе рассчитывается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя

из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Полная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле:

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

$Z_{\text{р.к.}}$  – доплата с учетом районного коэффициента (30 %), руб.;

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во дней	Основная заработная плата руб.
Руководитель	33 664	10 099	43 763	1 683	5	8415
Дипломник	12 300	3 690	15 990	615	98	60 270

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 19.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

Таблица 19 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэф. доплаты	Основная заработная плата руб	Дополнительная заработная плата руб	Полной заработной плата, руб.
Руководитель	0,15	8 415	1 285	9 700
Дипломник	0,12	60 270	7 230	67 500
Итого		68 685	8 515	77 200

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

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные страховые фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 77,2 = 23,3 \text{ тыс. руб.}$$

### 3.3.4 Накладные расходы

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%, от общей суммы затрат.

### 3.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта

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

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Стоимость комплектующих и оборудования

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.	Структура затрат %
1. Материальные затраты ТП	1,2	1,0
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	77,2	63,6
3. Отчисления во внебюджетные фонды	23,3	19,4
4. Накладные расходы	18,3	16,0
5. Итого	120,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 98 рабочих дней для дипломника и 5 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 120,0 тыс.руб, из которых более половины (63%) составляют

затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

### 3.3.6. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [18]:

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

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

$a_i$  - весовой коэффициент разработки;

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

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как:

- повышение производительности труда пользователя осуществляется путем автоматизации технологического процесса;

- удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) – возможность диспетчеризации позволяет сократить количество осмотров системы за период эксплуатации;

- энергоэкономичность – применение частотно-регулируемого электропривода дает возможность использовать плавный пуск приемного рольганга ;

- надежность – отсутствие ударов при переключении на другие скорости;

- уровень шума – применение частотно-регулируемого электропривода значительно снижает уровень шума приемного рольганга;

- безопасность – нет необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала, так как управление и мониторинг за работой приемного рольганга осуществляется дистанционно.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Энергосбережение	0,20	4
3. Материалоемкость	0,15	5
4. Помехоустойчивость	0,15	5
5. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителям)	0,15	5
6. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	5
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности технического проекта:

$$I_{pi} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 = 4,8$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет высокое значение (по 5-балльной шкале). Высокие баллы надежности и энергосбережению позволяют оценивать о надежности системы.

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

- в результате проведения SWOT-анализа, что сильных сторон у проекта гораздо больше, чем слабых, а это показывает о перспективности проекта в целом. 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 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 (4,8 по 5-балльной шкале), что свидетельствует о надежности технического проекта.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

<b>Группа</b> З-5Г4Б1	<b>ФИО</b> Попова Ольга Николаевна
--------------------------	---------------------------------------

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

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Регулируемый электропривод приемного рольганга. Система электроснабжения обжимного цеха ОАО «ЗСМК»
--	--

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

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
<b>2. Производственная безопасность</b>	Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1. Неудовлетворительная освещенность 2. Повышенный шум 3. Повышенные вибрации 4. Неудовлетворительные параметры микроклимата 5. Механические травмы вследствие: а) движения машин и механизмов; б) движение производственного материала; 6. Поражения электрическим током
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Анализ воздействия на атмосферу (выбросы) и литосферу в процессе работы данного цеха.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха – пожар. -по необходимому оснащению (первичные средства пожаротушения пожарная сигнализация ,система автоматического пожаротушения); -инструкции по пожарной безопасности для работников; -план эвакуации работников при пожаре.

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Попова Ольга Николаевна		

## **4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

На производстве должны быть созданы благоприятные условия труда – совокупность факторов производственной среды, оказывающих влияние на здоровье и работоспособность человека в процессе труда.

Однако возможность воздействия производственных факторов на работающих существует всегда, поэтому должны быть разработаны меры защиты и обеспечения безопасности труда – состояния условий труда, при которых исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов.

Данный раздел посвящен вопросам обеспечения необходимых условий труда (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросам экологической безопасности.

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

#### **Электробезопасность.**

В цехе большая часть электрооборудования работает при напряжении до 1000В. Электрическую опасность представляют: электроустановки, электродвигатели, электрооборудование и линии электропередач.

Электротравматизм по сравнению с другими видами травматизма составляет до 1%, но по числу случаев с тяжелым исходом занимает одно из первых мест.

Все электроустановки принято разделять по напряжениям на две группы:  $U < 1000 \text{ В}$  и  $U > 1000 \text{ В}$ . Следует отметить, что наибольшее число травм происходит в электроустановках  $U < 1000 \text{ В}$ .

Основными причинами электротравматизма являются:

- появление напряжения там, где его в нормальных условиях не должно быть (металлоконструкции, корпуса электро- и промышленного оборудования, строительные элементы зданий). Причина - повреждение изоляции кабелей, проводов или обмоток электрических машин и аппаратов;
- возможное прикосновение к незаземленным токоведущим частям. Все клеммы, шины должны располагаться на высоте или под ограждением;
- образование электрической дуги между токоведущей частью и человеком (при  $U > 1000$  В). Нормами установлены следующие наименьшие допустимые расстояния: в электроустановках  $U = 6-35$  кВ - 0,6 м; 60 – 110 кВ - 1 м; до 150 кВ - 1,5 м; до 220 кВ - 2 м; 500 кВ - 3,5 м;
- прочие причины - несогласованные и ошибочные действия персонала; оставление электроустановки под напряжением без надзора; возникновение шагового напряжения на поверхности земли; допуск к работам на отключение токоведущих частей без проверки отсутствия напряжения и наличия заземления.

В цехе имеются источники электромагнитных и электрических полей, которые используются для различных целей: подогрева рабочих валков, сушки покрытий, нанесенных на поверхность изделий, нагрева исходных изделий для горячей прокатки. Электромагнитное поле создается при работе высокочастотных и сверхвысокочастотных установок. Нормы по электромагнитному излучению по СанПиН 2.2.4.3359-16.

Электродвигатели открытого типа установлены в помещении цеха без повышенной опасности, их токоведущие и вращающиеся части не закрыты и не защищены, поэтому вокруг устанавливаются ограждения. Рубильники, установленные в производственных помещениях на распределительных щитах снабжены защитными кожухами, изготовленными из огнестойких материалов. Для защиты электроустановок от перегрузок применяют плавкие предохранители. Внутрицеховая электрическая сеть изготовлена из изолированных проводов или кабелей. Кабели прокладывают в полу в каналах и закрывают сверху съемными покрытиями из огнестойких материалов.

Воздушную электрическую сеть выполняют на изоляторах, на высоте не менее 6 м при напряжении до 1000В и не менее 7 м при напряжении свыше 1000В. Защитное заземление применяют как при изолированной так и при заземленной нейтрали.

Для защиты от электрических и электромагнитных полей устанавливают экранирующие устройства, работающих обеспечивают специальными экранирующими костюмами. Экраны представляют собой заземленные щиты из токопроводящего материала. Стационарные экраны предназначены для защиты персонала при осмотре оборудования. Методы контроля и способы средств защиты должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.006-84 и соответствовать требованиям ПУЭ.

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по ГОСТ Р 12.1.019-2009

## **4.2 Производственная безопасность**

### **4.2.1 Анализ вредных производственных факторов**

При проведении технологического процесса в обжимном цехе ОАО "ЗСМК" на всех стадиях обработки металлов возможно появление вредных и опасных факторов.

Основные вредные факторы

- а) Шум и вибрация.
- б) Неудовлетворительные показатели микроклимата.
- в) Недостаточная освещенность рабочей зоны.

Шум и вибрация.

Шум оказывает многообразное влияние на организм человека. Основной шум цеха лежит в области частот до 1000Гц и имеет значение звукового давления в пределах 75–95дБА и может достигать 110дБА. Источники механических шумов в прокатных цехах являются зубчатые передачи, подшипники, кулачки, кривошипные механизмы, цепные передачи, процессы транспортировки металла по рольгангам, его деформации, резки, вибрации поверхностей машин и оборудования. Термический шум возникает при работе газовых горелок, нагревательных устройств, при горении различных факелов. Электромагнитный шум возникает при шуме трансформаторов. Уровень звукового давления на рабочих местах в цехе 90-120 дБА, при норме 80 дБА. СанПиН 2.2.4.3359-16

Источниками вибрации являются: возвратно-поступательные движущие системы: электрические и пневматические зубила, шлифовальные машины. Санитарные нормы вибрации рабочих мест по СН 2.2.4/21.8.566-96

При эксплуатации рольгангов возникает высокие уровни шума, обусловленные ударным воздействием. Снижение шума достигается изменением конструкции рольганга, а также применением металлических материалов с высокими демпфирующими свойствами, изготовление роликов рольганга из стали, содержащей от 0,7 до 3,5% Mn, что снижает уровень звукового излучения на 12-15 дБА. Посты управления обжимными станами располагают вблизи клетки. Следовательно, они систематически находятся над горячими слитками и прокатами, а также имеет место шум высоких уровней. Поэтому посты управления должны иметь защитную теплоизоляцию и быть защищены от проникновения шума в помещении поста. Многие посты управления реконструированы: расширены, введено двойное остекление, стены и полы их термоизолированы. Уровни шума должны соответствовать ГОСТ 121.003-2014 вибрации- ГОСТ 12.1.012-2004.

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

Таблица 22 – Санитарные нормы одно-числовых показателей вибрационной нагрузки на оператора для смены длительностью 8 часов

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

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 допустимый уровень шума на рабочих местах производственных помещений 80 дБА, на пультах управления 75 дБА.

Если нормы шума на рабочем месте колеблются в радиусе 80 – 85 дБА, руководство должно действовать на снижение всех рисков. Это следующие меры:

- подбор оборудования с меньшими шумовыми эффектами;
- информирование и обучение персонала работе с меньшим шумом от оборудования;
- использование всех технических средств – защитных экранов, кожухов, звукопоглощающих покрытий, изоляции, амортизации;
- ограничение длительности и напряжённости воздействия до приемлемого уровня;
- производственный контроль вибрации и акустики;
- ограничение доступа в рабочие зоны с шумом от 80 дБА тех, кто не связан с основным технологическим процессом;
- обязательное предоставление СИЗ для ушей;( против шумные вкладыши, заглушающие наушники)
- ежегодное проведение медосмотров тех, кто работает при шуме от 80 дБА.

### **Микроклимат.**

В производственных помещениях цеха предусматривается создание микроклимата, который обеспечивает нормальные условия для работы производственного персонала. Источники тепловых выделений - обрабатываемый металл, нагревательные устройства, стан, вспомогательное оборудование методической печи для термической обработки, отделочные агрегаты. Большое количество теплоты выделяется при складировании исходных материалов, готовых изделий, охлаждении на холодильниках. Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях являются: а) температура воздуха; б) температура поверхностей; в) относительная влажность воздуха. Оптимальная температура 16-25 С, допустимая 13-25 С, при выполнении тяжелой физической работы максимально допустимое значение температуры 26 С, а относительная влажность не более 75%..

Микроклимат (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения) и содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны должны быть в пределах СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений», что обеспечивается:

при незначительных перегревах воздуха и умеренных выбросах паров, газов, аэрозоля - применением организованной естественной вентиляции;

при значительных уровнях теплового воздействия и выбросов загрязнителей - устройством принудительной вентиляции, обеспечивающей снижение температуры воздуха и концентрации загрязнителей до допустимых пределов притоком свежего воздуха в рабочую зону.

Источники интенсивных выбросов загрязнителей должны оборудоваться местной вытяжной вентиляцией непосредственно от них.

При невозможности достижения нормативных показателей микроклимата воздуха рабочей зоны должна обеспечиваться защита работников системами местного кондиционирования, воздушного душирования, средствами индивидуальной защиты, регламентом выполнения

работ. Все параметры в производственном цехе соответствуют СанПин2.2.4.548-96.

### **Недостаточная освещенность.**

Современному производственному освещению предъявляют высокие требования гигиенического и технико-экономического характера. Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».

Неудовлетворительное освещение служит причиной травматизма, отрицательно влияет на зрение работающих и понижает производительность труда. Необходимо поэтому обеспечить хорошую освещенность металлургических цехов как в дневное, так и в темное время суток.

Основные требования к производственному освещению заключаются в создании достаточного по величине и равномерного освещения, без образования резких контрастов освещенности и теней, а также в предупреждении слепимости людей лучами светильников.

Правила и нормы искусственного освещения основываются на закономерностях, определяющих работоспособность зрения должна соответствовать СНиП 23-05-95

В цехе для внутреннего освещения используют естественное и искусственное освещение. Правильное освещение рабочих мест имеет большое значение для создания безопасных условий труда. При рациональном освещении глаз, не утомляясь длительное время сохраняет устойчивое зрение.

Рациональное освещение характеризуют следующие показатели:

- достаточный уровень освещенности на рабочих поверхностях и в проходах;
- целесообразное расположение светильников обеспечивают требуемое направление световых потоков;
- достаточная равномерность освещения.

Система комбинированного освещения получила наиболее широкое распространение. Правильное сочетание местного и общего освещения обеспечивает безопасность работ. Источниками искусственного освещения являются газоразрядные лампы и лампы накаливания. Газоразрядные лампы предпочтительнее для применения в системах искусственного освещения. Световой поток от газоразрядных ламп по спектральному составу близок к естественному освещению и поэтому более благоприятен для зрения. Из источников света в цехе применяют лампы высокого давления - тип лампы ДРЛ-700.

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 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. В высоких цехах, освещаемых лампами ДРЛ для аварийного освещения целесообразно использовать ГЛН мощностью 1000, 1500 и 2000 Вт.

#### **4.2.2 Анализ основных опасных факторов**

Основные опасные факторы

- а) Движение машин и механизмов.
- б) Движение производственного материала.
- в) Поражение электрическим током.

**Движение машин и механизмов**

В цехе установлено различное основное и вспомогательное оборудование, движущие части которого представляют определенную опасность, так как непредусмотренный контакт с ними может вызвать травмы производственного персонала. Это прокатные валки, тянущие, подающие и направляющие ролики, кантователи, толкатели, сталкиватели, манипуляторы, рольганги, транспортеры.

Части и узлы прокатных машин (валки, маховики, соединительные шпиндели, зубчатые колеса, барабаны летучих ножниц, различные муфты, втулки, кулачки, эксцентрики) совершают вращательные движения. Другие части и узлы (рычаги, элементы транспортеров, толкателей манипуляторов и кантователей) выполняют возвратно – поступательное движение. Опасность воздействия определяется прежде всего конструктивными проблемами. Так, опасность возрастает, если вращающиеся части оборудования содержат выступающие крепежные детали (болты, шпильки, винты, гайки), а на их поверхности имеются следы неравномерного износа или дефекты (трещины, заусенцы и пр.).

При вращении навстречу друг другу прокатных и других валков возникают условия для захвата конечностей человека, его одежды. Движущиеся слитки, блюмы, слябы, заготовки, подкат и готовый продукт создают возможность травмирования персонала во время непредусмотренного контакта их с человеком. Учитывая, что скорость обработки металла на механическом оборудовании прокатных цехов возросла, возможны выбросы металла из валков, направляющих линеек, аппаратов и т.д.

Поэтому для обеспечения безопасности эксплуатации машин и механизмов прокатных цехов необходимо применять различные системы защиты. Это достигается прежде всего механизацией и автоматизацией производственных процессов, дистанционным управлением механизмами и наблюдением за их работой, заменой периодических процессов непрерывными, автоматизацией измерения параметров процесса обработки металла.

Движущиеся и вращающиеся части механизмов прокатных станов, агрегатов, расположенных в труднодоступных местах, допускается ограждать общим ограждением с запирающимся устройством. Маховики должны иметь боковое ограждение в виде сплошного барьера или перил с обшивкой по низу. Ограждения маховиков по ободу должно выполняться в виде сплошного щита не менее 2м.

Для безопасного перехода людей через рольганги, шлепперы, конвейеры должны быть построены переходные мостики, огражденные перилами. Мостики для перехода через горячий металл должны иметь теплоизолирующий настил, а с боков экранированы щитами из листового железа высотой не менее 1,8 м. Для обеспечения безопасности рабочих при ремонтах ячеек нагревательных колодцев по краю площадки должны устанавливаться съемные ограждения.

#### **Движение производственного материала.**

При выполнении операций резки металла на ножницах потенциальная опасность возникновения травм у персонала может возникнуть при замене ножей и удалении с их режущих поверхностей наваров, уборке обреза и окалины от ножниц, устранении заклинивания обреза в желобе ножниц и на конвейере, в процессе резки и отборе проб. В скрапном пролете опасность возможна при проведении кантовки коробок – контейнеров с обрезью, а также при перестановке вагонов под обрезь, поэтому в процессе работы проводят периодический осмотр оборудования, при котором также возможно поражение персонала.

При проведении прокатки на блюминге или слябинге потенциальная опасность возникновения травм у персонала возникает при транспортировании слитков рабочим рольгангом к стану, прокатке слитков в рабочей клетке в первых проходах, проведении перевалок и настройке валков, очистке желобов гидросмыва окалины, очистке рольгангов от данных пробок и скрапа, проведении операций по установке, уборке и кантовании коробок для скрапа.

Рольганги, подающие металл к ножницам, должны иметь борта исключающие возможность вылета подаваемого металла.

В случаях, если исполнительные органы машин представляют опасность для людей и не могут быть ограждены, должны быть предусмотрены сигнализация, предупреждающая о пуске машины в работу, и средства для остановки и отключения от источников энергии.

### **Поражение электрическим током.**

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый цех относится к помещению с повышенной опасностью. В цехе 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.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);
- изоляцию рабочего места;
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы:

- защитное заземление;

- зануление;
- систему защитных проводов;
- защитное отключение;
- изоляцию нетоковедущих частей;
- малое напряжение;
- контроль изоляции;
- компенсация токов замыкания на землю;
- средства индивидуальной защиты.

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по ГОСТ Р 12.1.019-2009

#### **4.3 Экологическая безопасность.**

Город Новокузнецк расположен в южной части Кемеровской области на площадке, образованной поймами рек Кондомы и Томи, и окружен отрогами Кузнецкого Алатау и Салаирского кряжа. Перепад высот в пределах города составляет 250 м.

Площадка ОАО "ЗСМК", шириной 2км и длиной 5 км с террасным расположением цехов, находится на юго-западной окраине города на правом берегу реки Томь. Размер санитарно-защитной зоны ОАО "ЗСМК" составляет 1000м.

По валовым выделениям пыли и образованию газов прокатное производство относится к наименее тяжелым участкам металлургического производства. Нагрев и горячая прокатка слитков способствует образованию значительного количества окалины. Технологический процесс связан с применением большого количества воды для смыва и транспортировки окалины, охлаждения прокатных валков, роликов рольгангов и проводковой

арматуры. Высокая степень механизации технологического процесса требует применения в большом количестве масел и смазок.

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

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

В цехе установлена одна газоочистная и пять пылеулавливающих установок. В период неблагоприятных метеоусловий производить внеплановый осмотр технического состояния всех газо- и пылеулавливающих установок с устранением выявленных отклонений от правил технической эксплуатации. В это время запрещается чистка пылеулавливающих установок, разведение костров, задымляющих территорию цеха.

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

Эксплуатационная производительность каждой нитки составляет 90000 м<sup>3</sup>/час, одна из которых находится в резерве. В каждом пылеулавливателе предусмотрено предварительное орошение газов водой через форсунки для коагуляции мелкодисперсных частиц пыли, а мокрые циклоны являются улавливателями и коагуляторами мелких капель, состоящих из воды и пыли. Скоагулированные частицы вместе с водой из пылеулавливателя поступают в

отстойник оборотного цикла прокатных цехов, а очищенные продукты сгорания через трубу выбрасываются в атмосферу.

Нормативы предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу от источников обжимного цеха за 2018 г. приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Нормативы предельно допустимых выбросов вредных веществ

Источник выделения вредных веществ (агрегат, установка)	Выбросы вредных веществ в атмосферу т, год.		
	Наименование веществ	Базовый выброс	Предельно допустимый выброс
Нагревательные колодцы	Пыль	59	60
	Окись углерода	2668,9	2660
	Сернистый ангидрит	434,7	480
	Окислы азота	58,4	50
	Бензапирен	0,00015	0,00015
Клеть 1250 АС-1	Пыль	22,53	30
МОЗ	Пыль	92,8	110
	Окись углерода	1319,8	1310
	Сернистый ангидрид	3,9	9
	Окислы азота	139,1	140
Зачистные станки АС-2	Пыль	27,63	30
ИТОГО	Пыль	201,86	230
	Сернистый ангидрид	438,6	489
	Окись углерода	3988,7	3970
	Окислы азота	197,5	190
	Бензапирен	0,00015	0,00015

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

углеводородам и в том числе к бензапилену, что делает сажу весьма опасной для человека.

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

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

Чрезвычайные ситуации классифицируют:

- по природе возникновения — природные, техногенные, экологические, биологические, антропогенные, социальные и комбинированные;
- по масштабам распространения последствий — локальные, объектовые, местные, национальные, региональные, глобальные;
- по причине возникновения — преднамеренные и непреднамеренные (стихийные);
- по скорости развития — взрывные, внезапные, скоротечные, плавные;
- по возможности предотвращения — неизбежные (природные), предотвращаемые (техногенные, социальные), антропогенные.
- по ведомственной принадлежности.

К техногенным относят ЧС, происхождение которых связано с техническими объектами, — пожары, взрывы, аварии на химически опасных объектах, выбросы радиоактивных веществ, обрушение зданий, аварии на системах жизнеобеспечения.

Объектовые ЧС — это чрезвычайные ситуации, когда последствия ограничиваются территорией завода, учреждения, но не выходят за рамки объекта. Для их ликвидации привлекают хотя и все силы и средства предприятия, но их достаточно, чтобы справиться с аварийной ситуацией. Оперативной частью плана ликвидации аварий должны охватываться все виды возможных аварий в производстве, цехе, отделении.

В одну позицию плана может включаться одно или несколько производственных мест, если мероприятия по спасению людей из этих мест одинаковы.

Допускается объединение в одну позицию возможных случаев взрыва и пожара. При этом для указанных аварий необходимо предусматривать отдельные мероприятия.

Прокатное производство характеризуется тем, что в обращении постоянно находится горячий металл, при обработке которого выделяется значительное количество лучистого тепла из раскаленного металла и окалины. Кроме того, в цехе используются горючие газы в качестве топлива в нагревательных колодцах и на машине огневой зачистке. Из выше перечисленных факторов, характеризующих прокатное производство, цех относится к категории "Г" (согласно НПБ 105-03).

Но в цехе имеются помещения, которые могут быть отнесены к более высокой категории пожароопасности: маслоподвалы, характеризующиеся наличием большого количества масла для нужд стана, которое способно воспламенению, можно отнести к категории "В"; проходы около газопроводов, подающих топливо в печь, характеризующиеся наличием легковоспламеняющегося газа, можно отнести к категории "А".

По НПБ 105-03, при проектировании к строительству зданий и сооружений необходимо учитывать категорию пожарной опасности производства, степени огнестойкости этих зданий. Огнестойкость обжимного цеха определяется, прежде всего, стойкостью конструкций сохранять свою несущую способность при воздействии высоких температур. Поскольку основными материалами, использованными при строительстве цеха, являются металл и бетон, цех имеет достаточно высокую огнестойкость и в соответствии со СНиП 21.01.-97 относится к первой степени огнестойкости.

В цехе предусмотрены противопожарные меры: к зданиям и к сооружениям цеха обеспечен подъезд пожарных автомобилей со всех сторон;

оборудование установками автоматического пожаротушения, пожарной сигнализации в особо пожароопасных помещениях.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры:

- максимально возможное применение негорючих и трудногорючих веществ и материалов в производственных процессах;
- ограничение количества горючих веществ и их надлежащее размещение;
- изоляцию горючей среды;
- применение средств пожаротушения;
- применение конструкций производственных объектов с регламентированным пределом их огнестойкости и горючести;
- эвакуация людей в случае пожара;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре;
- организацию пожарной охраны объекта;
- применение средств коллективной и индивидуальной защиты от огня.

Для тушения пожаров применяются несколько типов стационарных систем пожаротушения. В складах применяются установки водяного пожаротушения. Данная установка не только тушит пожар, но и включает световую и звуковую системы сигнализации. В кабельном подвале установлены стационарные установки и автоматическая пожарная сигнализация дренчерного пожаротушения с дистанционным управлением. В галереях, где расположены электрические кабели, применяют установки газового пожаротушения. В маслоподвалах применяют установки тушения пожаров паром. Ввод в действие этих установок производится вручную задвижками, находящиеся рядом с маслоподвалом.

Для предотвращения гибели людей при возникновении пожара каждый рабочий должен знать пути безопасного выхода из своего помещения. На рисунке 22. показан план эвакуации людей при пожаре из мастерской электрослужбы стана 1250, а также нанесены средства тушения пожара.

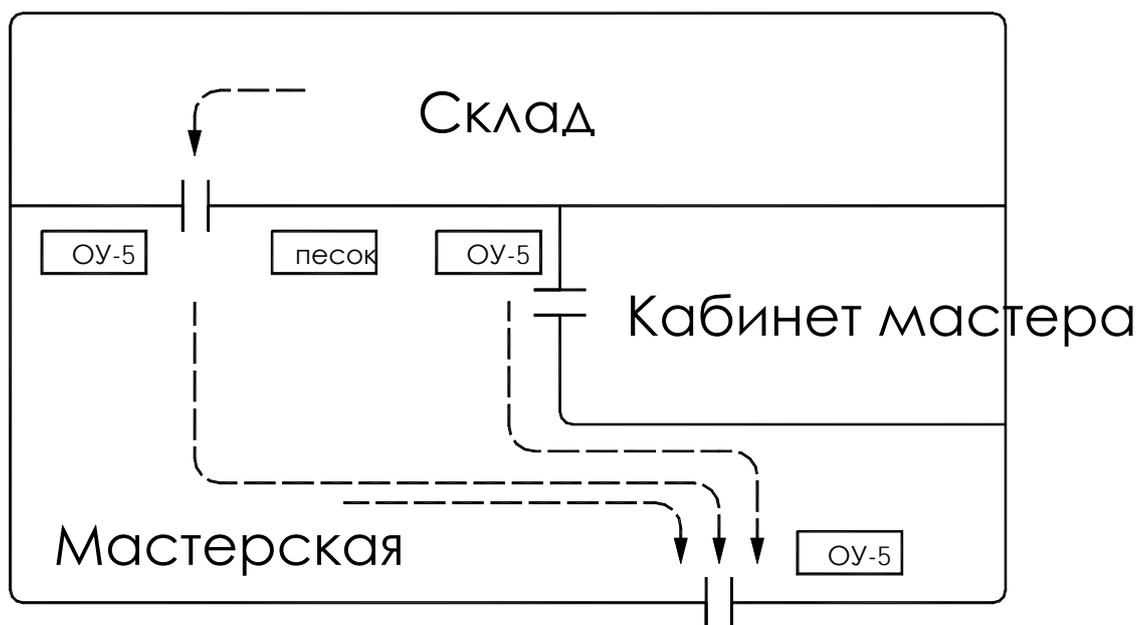


Рисунок 22 - План эвакуации при пожаре

Мероприятия по спасению людей и ликвидации аварий, записываемые в оперативную часть плана ликвидации аварий, должны разрабатываться с учетом взаимосвязи по коммуникациям и взаиморасположения производств, цехов, отделений, установок и других объектов.

В оперативной части плана ликвидации аварий должны быть предусмотрены:

- мероприятия по спасению людей и ликвидации аварий конкретно по каждому предусмотренному случаю аварии;
- лица, ответственные за выполнение предусмотренных мероприятий, и конкретные исполнители;
- действия газоспасательного подразделения и пожарной части в начальный момент по спасению людей и ликвидации аварий;
- места нахождения средств для спасения людей и ликвидации аварий (шкафы с аварийным запасом противогаров, инструмента и материалов).

Запрещается перегружать оперативную часть плана ликвидации аварий указаниями о восстановительных и ремонтных работах, не имеющих прямого отношения к ликвидации аварий.

Выход людей из аварийных помещений необходимо предусматривать по наиболее безопасным и кратчайшим путям.

С верхних этажей выход людей следует предусматривать как по обычным путям, так и по запасным выходам и наружным лестницам в зависимости от обстановки.

При определении путей к выходу в каждом случае следует предусматривать возможность и необходимость пользования индивидуально закрепленными газозащитными приборами типа - респиратор Газозащитный АМ-67 и приборами из аварийных шкафов. Места установки шкафов должны быть определены планом ликвидации аварий.

Пути выхода людей из здания должны указываться от каждого рабочего места и для каждого случая аварий.

При взрывах газа, загазованности помещения и пожарах должен предусматриваться вывод всех людей из помещения.

При авариях, имеющих местный характер, вывод людей должен предусматриваться только из опасных мест.

План ликвидации аварий должен быть тщательно изучен всем административно-техническим персоналом и рабочими цеха, а также работниками газоспасательной станции и пожарной части.

Ознакомление с планом ликвидации аварий должно быть оформлено под расписку.

План ликвидации аварий (выписка из него) должен быть вывешен в цехе в рамке под стеклом на видном месте, около шкафа с аварийным запасом оборудования и материалов, для постоянного ознакомления с ним всего персонала цеха. В отдельных случаях места вывешивания плана ликвидации аварий устанавливаются администрацией цеха, предприятия.

Запрещается допускать к работе лиц, не знающих плана ликвидации аварий в части, относящейся к местам их работы.

Учебные тревоги в цехах (производствах) проводятся на основании графика, составленного начальником отдела техники безопасности и

утвержденного главным инженером предприятия или по требованию инспектора Госгортехнадзора,

Руководителем проведения учебной тревога является в зависимости от масштабов, участвующих в проведении учения, начальник участка (установки), главный инженер предприятия или его заместитель.

Учебные тревоги следует проводить по заранее составленному и утверждённому Плану проведения учебной тревоги разрабатывается по одной из позиций плана ликвидации аварий начальником цеха совместно с представителем отдела техники безопасности, начальником газоспасательного подразделения и утверждается главным инженером предприятия.

Руководство цеха, где производится учебная тревога, извещается об «аварии» телефонисткой по списку лиц, подлежащих вызову на «аварию» при проведении учебной тревоги.

По материалам проверки и разбора составляется акт, в котором отмечаются все выявленные недостатки и намечаются мероприятия по их устранению с указанием сроков исполнения и ответственных лиц за их выполнение, на основании которого директор предприятия издает приказ об устранении отмеченных недостатков или нарушений правил безопасности и внесении соответствующих исправлений или дополнений в план ликвидации аварий.

Контроль за своевременным проведением учебных тревог и выполнением мероприятий, указанных в актах по результатам проведения этих тревог, осуществляется главным инженером предприятия.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В систему автоматического управления электроприводом приемного рольганга входят: электродвигатель, преобразователь, передаточная и

управляющая системы, представляющие вместе сложную электромеханическую структуру. Кроме того, на характер работы этой системы оказывает существенное влияние специфика прокатного производства, что дополнительно предъявляет целый ряд требований к системе электропривода приемного рольганга.

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

Динамические показатели качества работы РЭП во всём диапазоне регулирования скорости полностью удовлетворяют требованиям технического задания. Время пуска электропривода со слитком и задатчиком интенсивности до максимальной рабочей скорости и реверсирования выбрано соответственно 1,5с и 3с. Перерегулирование скорости практически отсутствует.

Электропривод приемного рольганга снабжён системой защит и сигнализации, обеспечивающей безаварийную и безопасную работу.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- 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 экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух 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 (4,8 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

В разделе безопасности и экологичности проекта дан анализ основных вредных и опасных факторов, угрожающих обслуживающему персоналу и разработаны меры по технике безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности. Рассмотрены меры и по охране окружающей среды.

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

## **Список используемой литературы**

1. Стрельченко В.В. Геофизические исследования скважин. Учебник для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 551 с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода. Учебник для вузов. –М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.
3. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод. Учебное пособие. –Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 224 с.
4. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем Часть 2. Оптимизация контура регулирования. –Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 156 с.
5. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 6 Механическая система электропривода. –Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 148 с.
6. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 7 Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов.–Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 164 с.
7. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод.–Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.
8. Королева Н.И., Трофимова М.Н.Технико-экономические показатели при проектировании электроприводов. Методическое пособие.–Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2001. – 67 с.
9. Бибилуров В.П. и др. Правила безопасности при геологоразведочных работах. – М.: Недра, 1979. – 249 с.
10. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
11. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
12. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
13. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
- 14 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – СПб.: ДЕАН, 1999. – 320 с.
- 15 Правила устройства электроустановок. 7-е изд. с изм. и дополн. – СПб, 2002. – 123 с.
- 16 Безопасность жизнедеятельности. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 2002. – 357с.

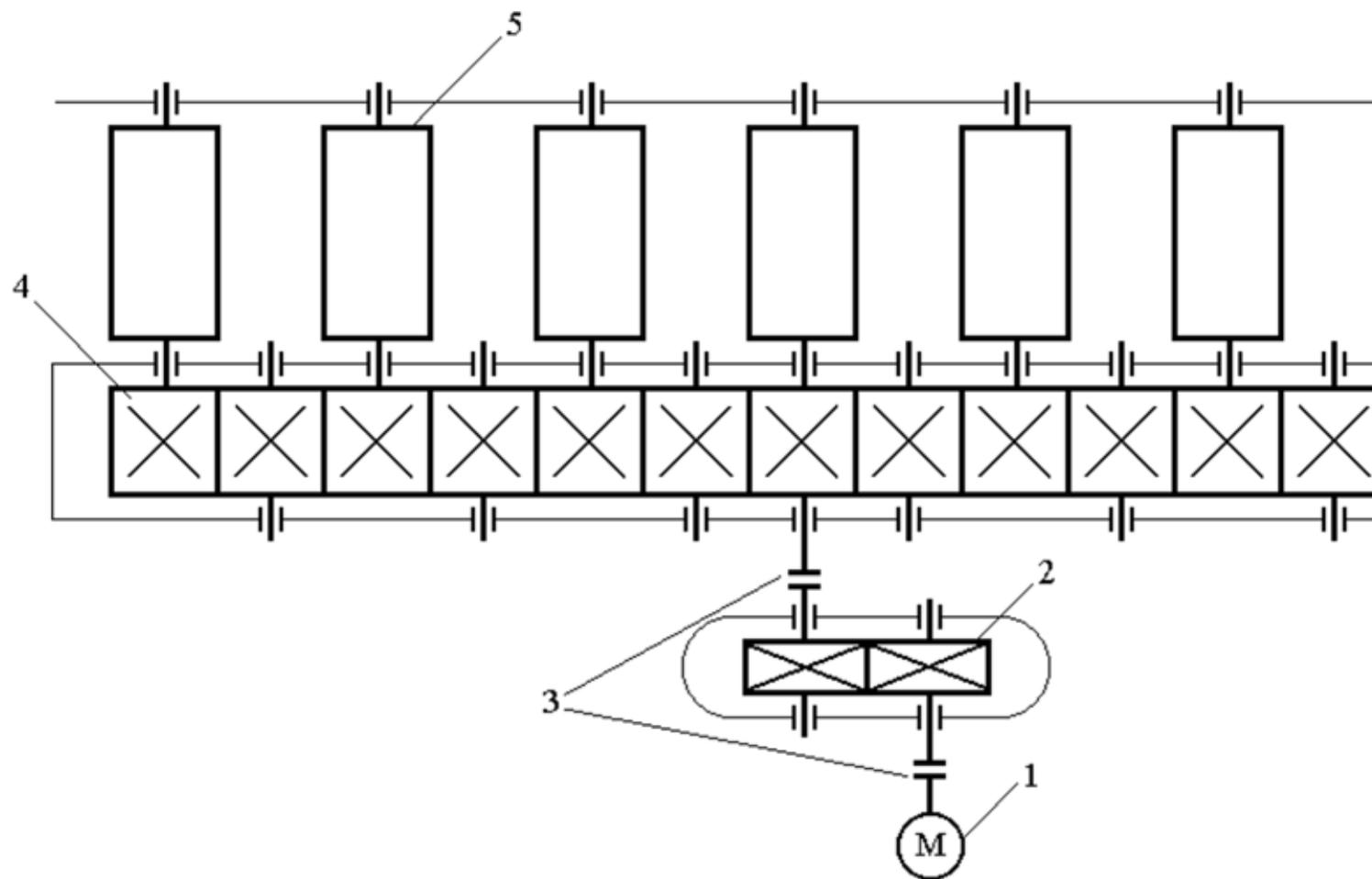
17. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
18. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
  - 19 ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
  - 20 СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
  - 21 ГОСТ 12.2.062-81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Ограждения защитные
  - 22 ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
  - 23 ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
  - 24 ГОСТ 12.4.125-83 Система стандартов безопасности труда. Средства коллективной защиты работающих от воздействий механических факторов. Классификация.
  - 25 СНиП 3.05.06-85 – 88. Электротехнические устройства.
  - 26 ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
  - 27 СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
  - 28 ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
  - 29 ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
  - 30 "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)

## **Приложение А.**

Графический материал.

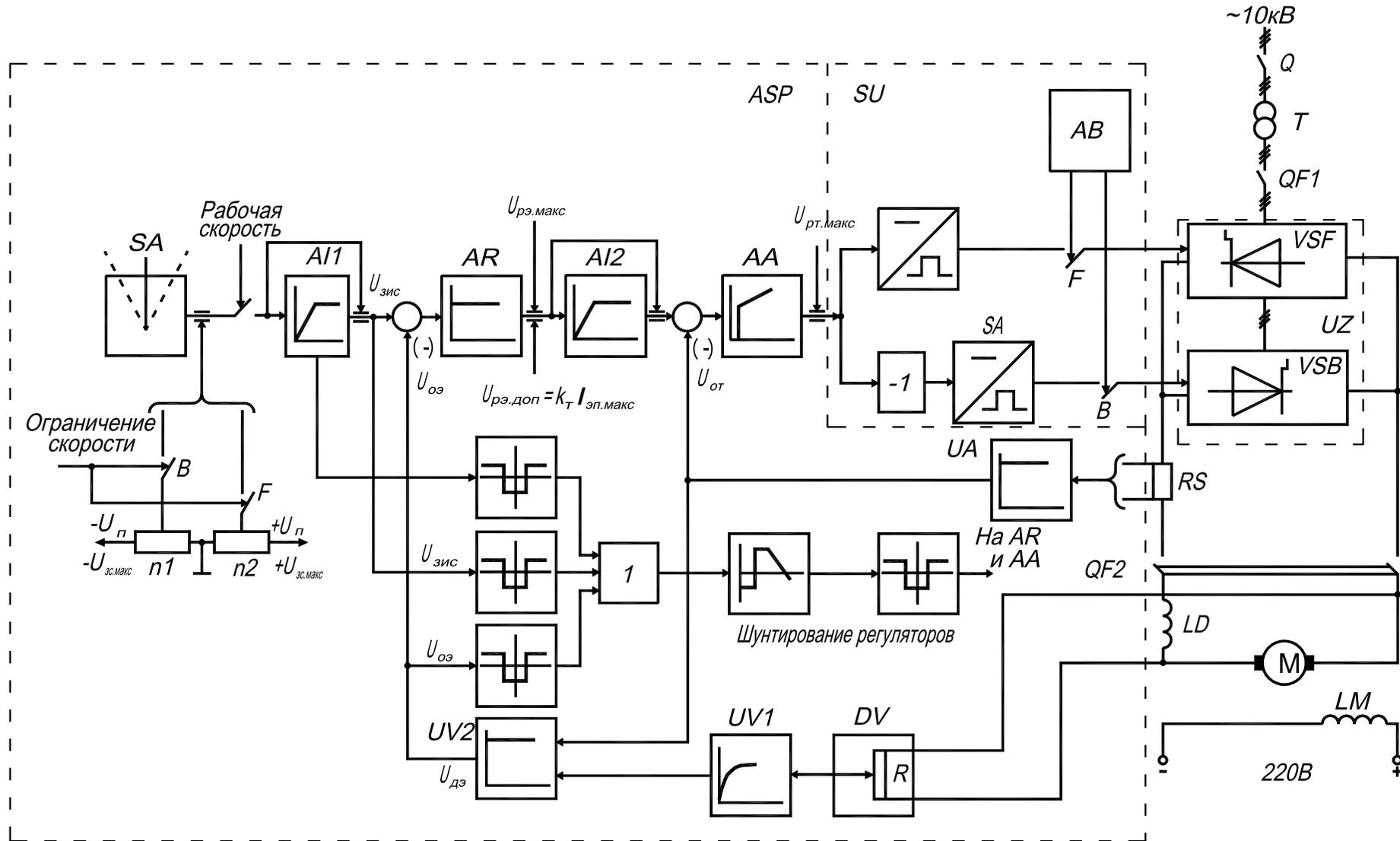


## Кинематическая схема приёмного рольганга стана 1250

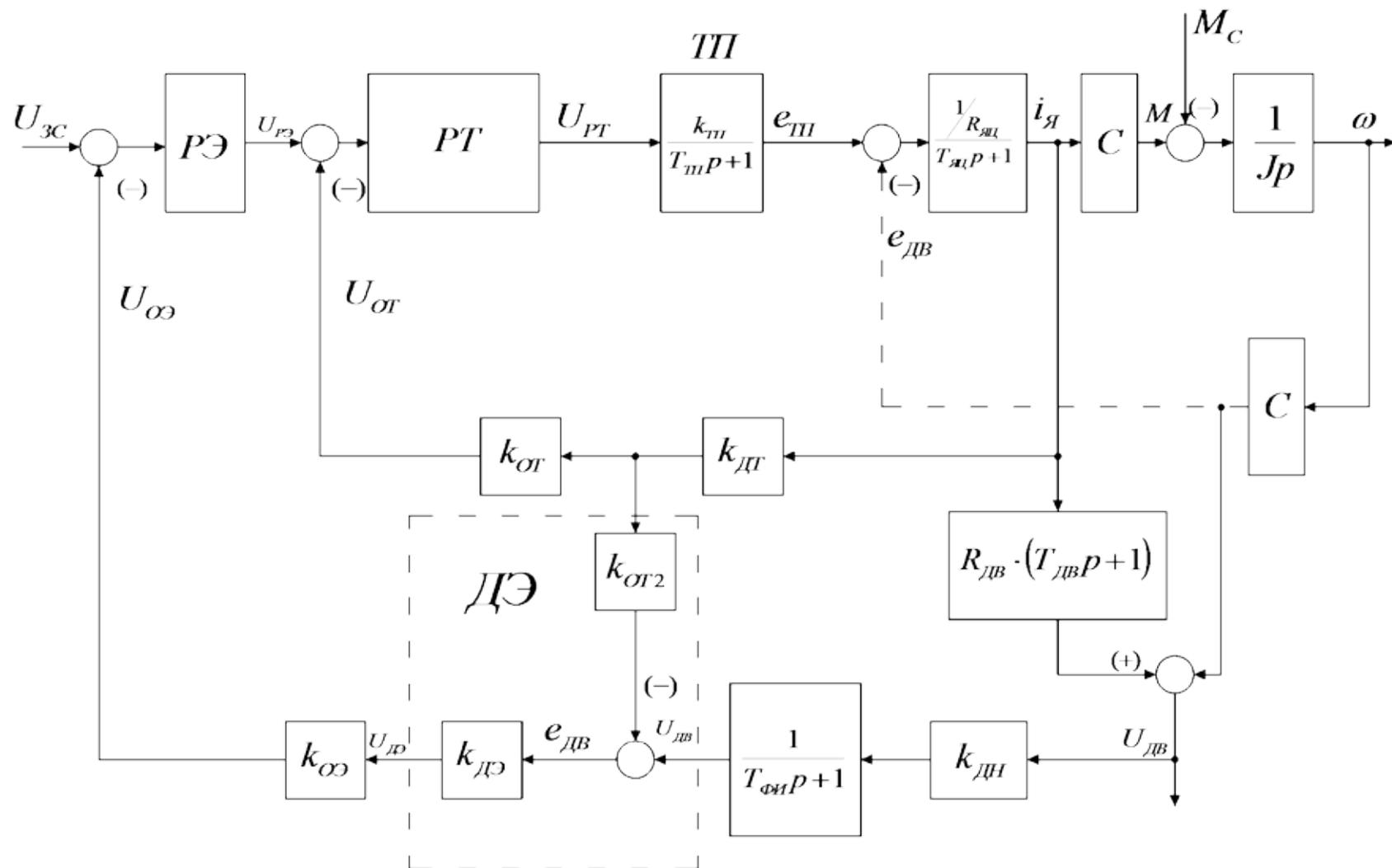


- 1 – электродвигатель;
- 2 – цилиндрический  
одноступенчатый  
редуктор;
- 3 – муфта;
- 4 – распределительный  
редуктор;
- 5 – ролик.

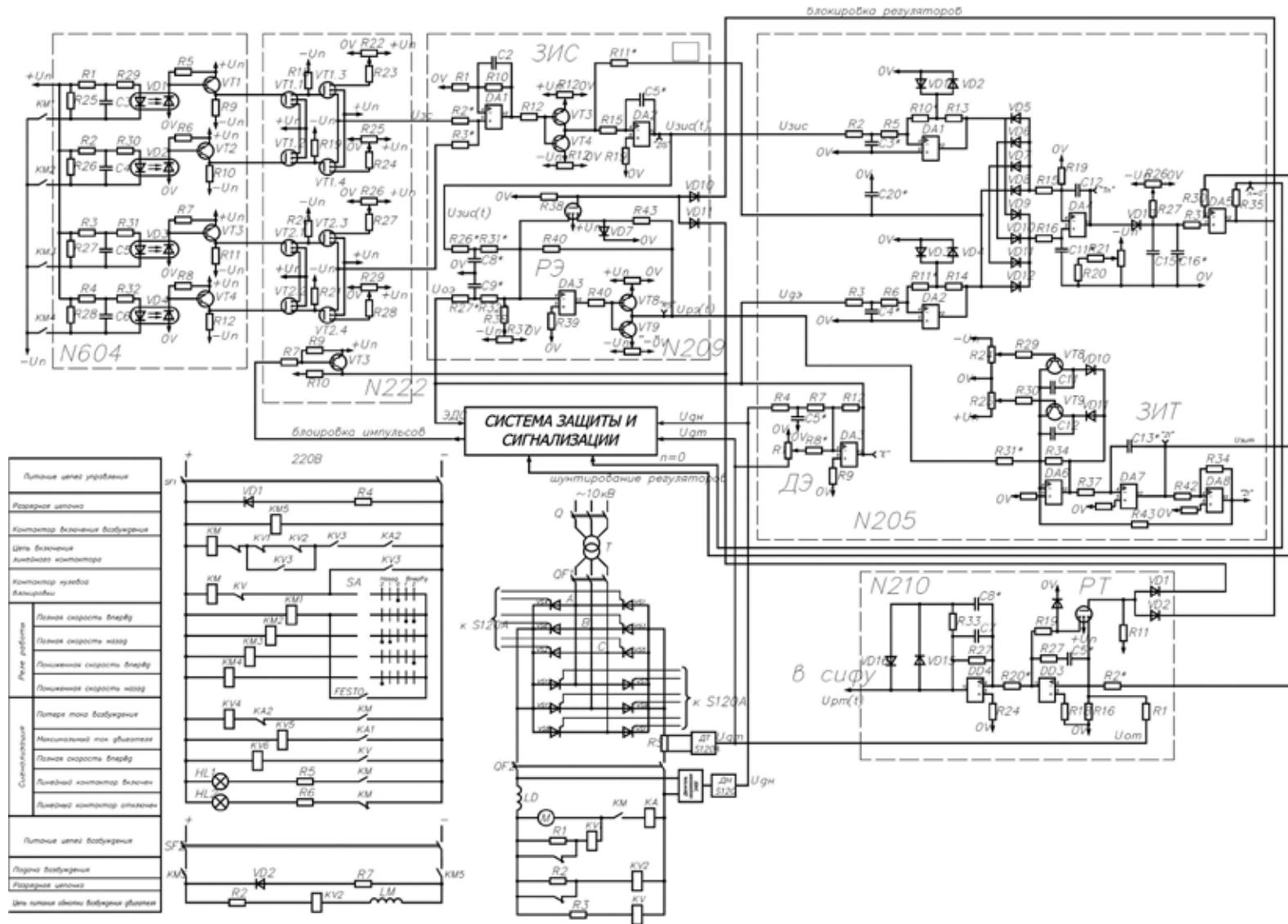
Схема электрическая функциональная электропривода приёмного рольганга стана 1250



## Структурная схема электропривода приёмного ролганга стана 1250



Принципиальная схема электропривода приемного рольганга



## Диаграммы цикла работы электропривода приёмного рольганга

