

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

Инженерная школа энергетики
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль «Электропривод и автоматика»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ЭЛЕКТРОПРИВОД ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ НЕПРЕРЫВНО-ЗАГОТОВОЧНОГО СТАНА

УДК 62-83:621.771.06-114

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Янушкевич Сергей Сергеевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	д.т.н., профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., доцент		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль «Электропривод и автоматика»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ОЭЭ ИШЭ

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Янушкевичу Сергею Сергеевичу

Тема работы:

Электропривод прокатной клетки непрерывно-заготовочного стана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02 2018г. № 645/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; синтез и анализ линейризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода; синтез и анализ нелинейной САУ РЭП; расчет статических и динамических характеристик, принципиальная электрическая схема, защита и сигнализация социальная ответственность проекта; финансовый

	менеджмент; заключение
Перечень графического материала	- схема кинематическая; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Калмыкова Екатерина Юрьевна
Социальная ответственность	Панин Владимир Филиппович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.	

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Янушкевич С.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Янушкевичу Сергею Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</p> <p>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</p>	<p>Описание рабочего места дежурного инженера узла связи при работе с прокатной клетью:</p> <p>-к вредным факторам производственной среды можно отнести повышенную или пониженную температуру воздуха рабочей зоны, подвижность воздуха, тепловое излучение, повышенные уровни шума, электромагнитные поля, освещённость;</p> <p>-к опасным факторам производственной среды можно отнести опасность поражения электрическим током. пожароопасность, получение механической травмы;</p> <p>- к негативным факторам воздействия на окружающую среду можно отнести химический вред неправильно утилизированных свинцово- кислотных аккумуляторных батарей</p>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	ГОСТ 12.0.003-74; СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.1.033-81; СНиП2.01.51-90; НПБ 105-03; ГОСТ 12.1.029-80; ГОСТ 12.4.125-83; ГОСТ Р 50571.2-94

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> - Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, подвижность воздуха, тепловое излучение методы предотвращения их вредного воздействия - устройство отопления, вентиляции, применение средств индивидуальной защиты ГОСТ 12.4.011-89; - Повышенные уровни шума методы уменьшения вредного воздействия уменьшение в источнике, изменение направленности излучения ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ - Освещённость методы предотвращения вредного воздействия – правильное проектирование системы освещения СНиП 23.05-95
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов произведённой среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, 	<ul style="list-style-type: none"> -Меры, предотвращающие опасность поражения электрическим током ГОСТ 12.1.030 – 81, ПУЭ; - Противопожарные меры ГОСТ 12.1.004-91, ППР

профилактик.мероприятия)	
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	- Обращения с выбросами, сбросами, твердыми отходами
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	- Одни из наиболее вероятных ЧС: пожары, электропоражения. Разработать мероприятия по предотвращению пожаров, электропоражений и других ЧС и ликвидации их последствий
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.03.2018 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.		16.03.18г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Янушкевич С.С.		16.03.18г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4А	Янушкевичу Сергею Сергеевичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Электроэнергетика и электротехника

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

<p>1. <i>Стоимость затрат технического проекта: на материальные расходы, заработную плату, страховые отчисления и накладные расходы</i></p>	<p><i>Определить объём материалов для технологического процесса производства и сопутствующий расход материальных затрат. Расчёт заработной платы рассчитать исходя из тарифной ставки и коэффициентов зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления согласно Федеральному закону от 24.07.2009 г. №212-ФЗ. Прочие и накладные расходы определить исходя из суммы остальных статей расходов</i></p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Структура пуско-наладочных работ</i></p>	<p><i>Определить состав пуско-наладочных работ исходя из комплекта электропривода прокатной клетки</i></p>
<p>2. <i>Стоимость пуско-наладочных работ</i></p>	<p><i>Провести работу в строгом соответствии с нормами их проведения</i></p>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4А	Янушкевич Сергей Сергеевич		

РЕФЕРАТ

В выпускной квалификационной работе сделаны проверочный расчет существующего оборудования главного привода горизонтальной клетки чистовой группы непрерывно–заготовочного стана обжимного ОЭМК.

Выпускная квалификационная работа включает в себя 83 листов печатного текста, 17 таблиц, 22 рисунка, использовано 16 источников литературы.

Выпускная квалификационная работа включает в себя четыре раздела: описание технологического процесса, выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода, финансовый менеджмент, социальная ответственность.

В разделе описание технологического процесса описана работа технологического участка, так же электропривод и конструкция прокатной клетки, представлен кинематический чертеж, а также проведена аргументация рода тока.

В разделе избрание элементов и вычисление параметров силового канала электропривода регулируемого произведен избрание электрооборудования, вычисление параметров и характеристик элементов цепи силовой. В соответствии с кинематической схемой прокатной клетки и параметрами прокатываемого металла произведен расчет и был выбран электродвигатель постоянного тока. Был произведен избрание комплектного регулируемого электропривода, выбран управляемый преобразователь якорной цепи и цепи обмотки возбуждения.

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является расчет и определение перспективности и успешности проекта, его оценка эффективности, а так же уровня возможных рисков, построение механизма управления и сопровождения конкретных решений проектных на этапе реализации.

Список принятых сокращений

СР – следящий ролик;

МОЗ – машина огневой зачистки;

НЗС – непрерывно-заготовочный стан;

СГЗ – склад горячей заготовки;

Г-Д – генератор – двигатель;

ТП-Д – тиристорный преобразователь – двигатель;

САУ – система автоматического управления;

РЭП – регулируемый электропривод;

ЛЧХ – логарифмическая частотная характеристика;

ЛАЧХ – логарифмическая амплитудная частотная характеристика;

ПИ-регулятор – пропорционально-интегральный регулятор;

ЭДС – электродвижущая сила;

СИФУ – система импульсно-фазового управления;

РТ – регулятор тока;

РТВ – регулятор тока возбуждения;

ЗИ – задатчик интенсивности;

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	10
1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	11
1.1. Объект автоматизации. Назначение. Описание	11
1.2. Технологический процесс	12
1.3. Технологические требования к электроприводу.....	15
2. МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЭП	16
2.1. Кинематическая схема электропривода	16
2.2. Расчетная схема замещения механической системы	22
2.3. Структурная схема двухмассовой механической системы.....	23
3. СИЛОВАЯ ЦЕПЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЭП	26
3.1. Выбор рода тока и типа электропривода.....	26
3.2. Определение величины индуктивности сглаживающего дросселя.....	30
3.3. Выбор тиристорного преобразователя и трансформатора.....	33
3.4. Определение параметров якорной цепи	35
3.5. Определение параметров цепи обмотки возбуждения двигателя	36
3.6. Расчет и построение области работы электропривода.....	37
3.7. Структурная схема силового канала электропривода.....	40
4. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ	42
5. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ «ТИРИСТОРНЫЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ – ОБМОТКА ВОЗБУЖДЕНИЯ».....	47
6. НЕЛИНЕЙНАЯ САУ РЭП.....	49
6.1. Структурная схема нелинейной САУ РЭП	49
6.2. Исследование на имитационной модели нелинейной САУ РЭП	54
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	59
7.1. Структура пусконаладочных работ	59
7.2. Определение стоимости пуско-наладочных работ.....	64
8. Безопасность и экологичность проекта	66
8.1. Анализ опасных и вредных факторов при выполнении работ	66
8.2. Техника безопасности.....	68
8.3. Производственная санитария.....	73
8.4. Пожарная безопасность.....	75
8.5. Охрана окружающей среды.....	78
8.6. Предотвращение ЧС и устранение их последствий.....	80
8.7. Пожар - как источник ЧС.....	80
8.7. Электропоражение - как источник ЧС.....	81
Заключение.....	83
Список использованных источников	84

ВВЕДЕНИЕ

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

Выпуском стали и чугуна занимаются металлургические предприятия. В настоящее время ни один из комбинатов не может обойтись без современных электроприводов, неразрывно связанных с повышением эффективности технологических процессов. Прокатка является основным видом обработки металлов давлением. Около 75% стали, выплавляемой на металлургических заводах, обрабатываются на прокатных станах и выпускается в виде готового проката: листов, сортовых профилей, труб (остальная часть 25% предназначена для производства стальных фасонных отливок и кузнечных слитков).

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

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

Современный прокатный стан характеризуется высоким уровнем производительности, механизацией трудоемких работ и автоматизацией

основных технологических процессов. Рост производительности прокатных станов и вспомогательных механизмов, повышение качества продукции, достижение высоких скоростей прокатки и интенсификация обжатий стали возможны в результате развития и широкого внедрения в прокатное производство современных систем электропривода и автоматики. Современные прокатные станы и механизмы представляют пример тесной взаимосвязи элементов конструкций, технологического процесса и автоматизированного электропривода. В настоящее время основным средством для приведения в движение рабочего органа машины и управления ее технологическим процессом является электромеханическое устройство, называемое электроприводом.

Большой диапазон регулирования скорости, высокая скорость позиционирования – вот чем характеризуется современный промышленный электропривод. Поэтому к нему предъявляются очень высокие требования по надежности и производительности.

Целью дипломного проекта является проверочный расчет существующего электрооборудования главного привода горизонтальной клетки чистовой группы непрерывно - заготовочного стана обжимного цеха ОЭМК.

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1. Объект автоматизации. Назначение. Описание

Непрерывно–заготовочный стан установлен непосредственно за машиной огневой зачистки, находящейся на участке стана 580 (блюминге). Стан имеет 2 группы клеток – черновую и чистовую с валками разного диаметра, в которых происходит непрерывная прокатка металла.

Стан имеет 15 клеток: 8 на черновой группе и 7 на чистовой группе. Клетки «1» и «2» немного удалены от клеток «3», что обеспечивает свободную прокатку

заготовки и кантовку последней на 90° перед задачей в непрерывную группу. В первой группе клетки «3», «5» и «7», а во второй «9», «11», «13» и «15» – вертикальные, имеющие верхний привод валков. При этом редуктор расположен на рабочей клетки. Горизонтальные клетки могут перемещаться перпендикулярно оси прокатки, а вертикальные – в вертикальном направлении, что обеспечивает установку неизменной линии прокатки при использовании различных калибров.

После прокатки в первой группе заготовка поступает во вторую непрерывную группу или на обводную линию стана. Перед второй группой заготовка кантуется на 45° и после прокатки ее за второй группой разрезается на мерные длины летучими (барабанными) ножницами. Для измерения фактической скорости выхода заготовки из стана при резании заготовки летучими ножницами используются следящие ролики СР, установленные перед летучими ножницами.

Каждая клетка имеет индивидуальный привод от двигателей постоянного тока. Привод всех клеток обеспечивается тремя типоразмерами прокатных двигателей:

- 1) Горизонтальные клетки «1», «2», «4», «6», «8» – 1А-62-56: 1800кВт; 750В; 2520А; 200/600 об/мин;
- 2) Горизонтальные клетки «10», «12», «14» – П2–21/33–3,15: 3150кВт; 930В; 3620А; 315/500 об/мин;
- 3) вертикальные клетки «3», «5», «7», «9», «11», «13», «15» имеют по четыре двигателя вертикального исполнения, работающих попарно: 710кВт; 1730А; 500/1000 об/мин.

1.2. Технологический процесс

Технологическая цепь обжимного цеха содержит в себе несколько участков: участок нагревательных колодцев, стан «850», машины огневой зачистки (МОЗ), непрерывно–заготовочный стан «580» (НЗС), склад горячей заготовки (СГЗ).

Заготовка на линию прокатки подается с участка нагревательных колодцев, откуда перемещается с помощью клещевых кранов и слитковозов.

На стане 850 исходная заготовка за 11 пропусков прокатывается до сечения 350×350 мм – 370×370 мм. После этого полученный блюм очищается от окалины машиной огневой зачистки. Затем режется на мерные длины с помощью ножниц 850тн. Блюмы, прокатанные на стане 580 весом 10 – 13 тонн, транспортируются рольгангами к НЗС.

Непрерывно–заготовочный стан «580» предназначен для прокатки заготовок сечением 80×80 мм, 100×100 мм, 125×125 мм, 150×150 мм, 150×200 мм, 165×200 мм следующих мерок стали: углеродистых (кипящих, полуспокойных, спокойных) обыкновенного качества по ГОСТ 380-71, стали горячекатаной для армирования железобетонных конструкций по ГОСТ 5781-82, стали углеродистой качественной конструкционной по ГОСТ 1050-74 и ГОСТ 10702-78, стали легированной конструкционной по ГОСТ 4543-75 и ГОСТ 10702-78, стали низколегированной по ГОСТ 19282-73, стали углеродистой низколегированной конструкционной для мостостроения по ГОСТ 6713-75, низкоуглеродистой по ГОСТ 2246-70, катанки стальной катанной по ГОСТ 1437-78.

Раскат проходит клетки «1» и «2», кантуется на 90 градусов кантователем и проходит последовательно клетки «3», «4», «5», «6», «7», «8». Здесь клетки «1», «2», «4», «6», «8» - горизонтального, а клетки «3», «5», «7» - вертикального типа.

Полученный раскат сечением 150×150 мм, 150×200 мм, 165×200 мм шлепперным устройством подается на обводную линию и транспортируется рольгангами №5, №6, №7, №8 к летучим ножницам 400тн для порезки на заготовки длиной 4 – 12 м на ходу при скорости движения раската 2,3 – 2,5 м/сек, обрезки переднего и заднего концов раската длиной 150 – 300 мм. В случае недостаточного нагрева заготовки вместо летучих ножниц 400тн она режется ножницами 800тн.

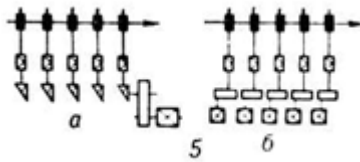


Рис. 1. Схема расположения рабочих клеток прокатного стана 5 — непрерывного (а — с групповым приводом, б — с индивидуальным)

Заготовки, предназначенные для дальнейшего переката на квадрат 80×80 мм или 100×100 мм, после первой (черновой) группы клеток прокатывается во второй группе, перед которой в случае необходимости производится обрезка головной части раскатов на маятниковых ножницах.

Перед второй группой клеток раскат кантуется на 45 градусов кантователем. Вторая группа состоит из семи клеток: «9», «10», «11», «12», «13», «14», «15», где «9», «11», «13», «15» - вертикальные, а «10», «12», «14» - горизонтальные. После прокатки раскат разрезается барабанными ножницами 150тн на заготовки длиной 10500 – 11800 мм, которые клеймяца в торец клеймовочным устройством, собираются в пакеты на пакетирующем рольганге второй группы с косорасположенными роликами и транспортируются по рольгангам на холодильники СГЗ.

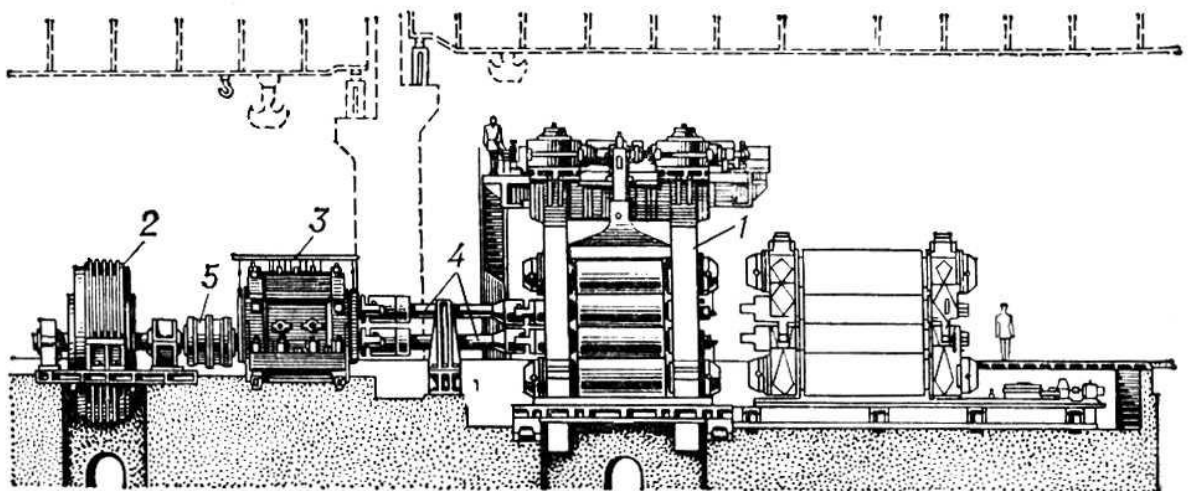


Рис. 2. Главная линия непрерывно-заготовочного стана: 1 — рабочая клетка; 2 — электродвигатель; 3 — шестеренная клетка; 4 — шпиндель; 5 — муфта.

1.3. Технологические требования к электроприводу горизонтальной клетки

По техническим условиям горизонтальная клетка №10 должна обеспечивать обжатие заготовки сечением 127×172 мм до сечения 100×100 мм, при хорошем качестве сечения, без заусенцев и загибов на концах, которые затрудняли бы подачу такой заготовки при дальнейшем передвижении ее по рольгангу.

Механизм клетки работает в длительном режиме без частых запусков и торможений. Цикл работы горизонтальной клетки заключается в постоянной обработке ударных нагрузок на механизм клетки. Высоких требований к пуску и торможению клетки не предъявляется.

Так как клетка работает в непрерывной группе, следовательно, также предъявляются требования согласования скорости вращения валков со скоростями вращения валков остальных клеток для прокатки заготовки без подпоров и натяжения.

Таким образом, к электроприводу горизонтальной клетки предъявляются следующие требования:

1. Согласованность времени пуска и торможения с другими клетями группы;
2. Мягкая характеристика;
3. Высокая надежность;
4. Возможность замены резервным тиристорным агрегатом.

2. МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЭП

2.1. Кинематическая схема электропривода

Кинематическая схема электропривода приведена на рисунке 3.

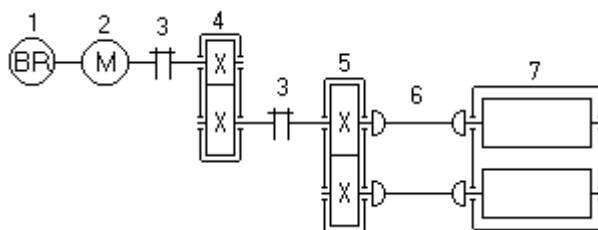


Рисунок 3 – Кинематическая схема электропривода

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1 – тахогенератор; | 5 – шестеренная клеть; |
| 2 – электродвигатель; | 6 – рабочие шпиндели; |
| 3 – муфта; | 7 – прокатные валки. |
| 4 – редуктор; | |

Механизм горизонтальной клетки состоит из следующих частей:

- 1) Клеть – рабочая часть, состоящая из двух валков горизонтального положения, предназначенных для обжатия металла необходимого калибра;
- 2) Шпиндели – предназначены для передачи вращения от шестерной клетки валкам, прикрепляются к валкам и к шестерной клетки шарнирами;
- 3) Шестеренная клеть – предназначена для передачи вращения двум валкам. Представляет собой зубчатую передачу из шестерен одинакового диаметра, располагается в закрытой коробке.
- 4) Редуктор – предназначен для того, чтобы при небольшой скорости прокатки можно было применять двигатель с относительно большой номинальной скоростью.

Параметры механизма приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры механизма горизонтальной клетки

Название	Обозначение	Величина
Диаметр валков, мм	D_B	580
Длина валка, мм	$l_{\text{ВАЛКА}}$	3405
Вес валка, кг	$G_{\text{ВАЛКА}}$	5570
Вес заготовки (максимальный), кг	$G_{\text{ЗАГОТ}}$	7000
Длина шпинделя, мм	$l_{\text{ШП}}$	4410
Вес шпинделя в сборе, кг	$G_{\text{ШП.СБ}}$	3250
Передаточное число редуктора клетки №8	$i_{\text{ред}}$	2,25
Время прохода, с	t	31
Время холостого хода, с	$t_{\text{ХХ}}$	9
Время цикла, с	$t_{\text{Ц}}$	40

Проверка мощности электродвигателя

Мощность электродвигателя прокатной клетки рассчитывается по методике, изложенной в [2, стр.86]. В расчетный формуляр заносятся основные технологические данные, необходимые для расчетов.

Таблица 2 – Формуляр для расчета мощности двигателя по кривым удельного расхода энергии

№	Технические данные	Обозн.	Ед.изм.	Значен.
	1	2	3	4
1	Размеры исходной заготовки			
2	вес	m	т	7
3	ширина	B	мм	127
	высота	h	мм	172

Размеры конечного профиля				
4	толщина	h_k	мм	100
	1	2	3	4
5	ширина	b_k	мм	100
6	длина	l_k	м	60
Размеры после клетки				
7	толщина до прохода	h_0	мм	127
8	толщина после прохода	h_1	мм	100
9	длина после прохода	l	м	60
10	время прохода	t	с	31
11	удельный расход энергии за проход	w	кВт·ч/т	2,2
12	момент прокатки	M_{II}	кН·м	200,97
13	момент холостого хода	M_{XX}	кН·м	14,331
14	общий момент	M	кН·м	215,3
15	среднеквадратичный момент	$M_{СК}$	Н·м	176,92
16	отношение $M/M_{СК}$	-	-	1,135
17	окружная скорость валков	V	м/с	4,1
18	скорость вращения валков	n_B	об/мин	135
19	потребная мощность на валках	P_{II}	кВт	2450
20	передаточное число редуктора	i	-	2,25
21	скорость вращения двигателя	$n_{дв}$	об/мин	303,75
22	потребная мощность двигателя	$P_{дв}$	кВт	2634,4
23	длительность цикла прокатки	$t_{ц}$	с	40

Момент прокатки для стали определяется по формуле [2, стр.86]:

$$M_{II} = 135 \cdot \frac{G \cdot D \cdot w}{L}, \text{ Т} \cdot \text{м},$$

где

G – вес заготовки, т;

D – диаметр валка, м;

L – длина после прохода, м;

w – удельный расход энергии, определяется по кривой удельного расхода энергии для непрерывно-заготовочного стана, кВт·ч/т [2, стр.70].

Тогда

$$M_{\Pi} = 135 \cdot \frac{G \cdot D \cdot w}{L} = 135 \cdot \frac{7 \cdot 0,58 \cdot 2,2}{60} = 200,97 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент прокатки, приведенный к валу двигателя:

$$M'_{\Pi} = \frac{M_{\Pi}}{i} = \frac{200,97}{2,25} = 89,32 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Общий момент:

$$M = M_{\Pi} + M_{\text{ХХ}},$$

где

$M_{\text{ХХ}} = 14,331 \text{ кН} \cdot \text{м}$ – момент холостого хода для клетки №10 чистовой группы.

Тогда

$$M = M_{\Pi} + M_{\text{ХХ}} = 200,97 + 14,331 = 215,3 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Среднеквадратичный момент:

$$M_{\text{СК}} = \sqrt{\frac{M_{\Pi} \cdot t + M_{\text{ХХ}} \cdot t_{\text{ХХ}}}{t_{\text{Ц}}}},$$

где

t – время прохода;

t – время холостого хода;

$t_{\text{Ц}}$ – время цикла.

Тогда

$$M_{\text{СК}} = \sqrt{\frac{M_{\Pi}^2 \cdot t + M_{\text{ХХ}}^2 \cdot t_{\text{ХХ}}}{t_{\text{Ц}}}} = \sqrt{\frac{200,97^2 \cdot 31 + 14,331^2 \cdot 9}{40}} = 176,92 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Отношение, характеризующее перегрузку двигателя по моменту:

$$\frac{M}{M_{ск}} = 1,135.$$

Скорость вращения валков:

$$n_B = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 4,1}{\pi \cdot 0,58} = 135 \frac{\text{об}}{\text{мин}},$$

где

V – окружная скорость валков.

Потребная мощность на валках определяется по формуле [2, стр.86]:

$$P_{п} = \frac{M_{ск} \cdot n_B}{0,975} = \frac{176,92 \cdot 10^3 \cdot 135}{0,975} = 2450 \text{ кВт.}$$

Скорость вращения двигателя:

$$n_{дв} = 135 \cdot 2,25 = 303,75 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Потребная мощность двигателя:

$$P_{дв} = \frac{P_{п}}{\eta} = \frac{2450}{0,93} = 2634,4 \text{ кВт.}$$

На основании условий $P_{расч} = 2634,4$ кВт и $n_{расч} = 303,75 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ выбираем

двигатель постоянного тока типа П2-21/33-3,15У4, технические данные которого приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические данные двигателя П2-21/33-3,15У4

Наименование	Обозначение	Величина
1	2	3
Номинальная мощность, кВт	$P_{ном}$	3150
Номинальное напряжение, В	$U_{ном}$	930
Номинальный ток, А	$I_{ном}$	3620
Номинальная частота вращения, об/мин	$n_{ном}$	315
Максимальная частота вращения, об/мин	$n_{макс}$	500

Номинальное напряжение обмотки возбуждения, В	$U_{н.об}$	220
Номинальный ток обмотки возбуждения, А	$I_{н.об}$	55 ÷ 60
Маховый момент, кг·м ²	GD^2	20500
1	2	3
Число полюсов	p	7
Сопротивление обмотки якоря, Ом	$R_{оя}$	$3,17 \cdot 10^{-3}$
Сопротивление обмотки добавочных полюсов, Ом	$R_{дп}$	$0,662 \cdot 10^{-3}$
Сопротивление компенсационной обмотки, Ом	$R_{ко}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$
Сопротивление двигателя в горячем состоянии, Ом	$R_{дв.гор}$	$8,62 \cdot 10^{-3}$
Сопротивление обмотки возбуждения, Ом	$R_{об}$	2,35
Индуктивность цепи якоря двигателя, Гн	$L_{я}$	$2,78 \cdot 10^{-3}$
Момент инерции двигателя, кг·м ²	$J_{дв}$	5125
Конструктивный коэффициент двигателя, В·с/рад	C	27,26
Перегрузка 2,25 в течение 15 секунд		
Возбуждение независимое		

Номинальная угловая скорость электродвигателя:

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30} = 32,97 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент электродвигателя:

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{3150 \cdot 10^3}{32,97} = 95541 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Конструктивный коэффициент двигателя:

$$C = \frac{U_{\text{дв.НОМ}} - I_{\text{дв.НОМ}} \cdot R_{\text{дв.гор}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{930 - 3620 \cdot 8,62 \cdot 10^{-3}}{32,97} = 27,26 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}.$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии:

$$R_{\text{дв.гор}} = (1,24 \div 1,38) \cdot R_{\text{дв.+15}^\circ\text{C}} = 1,3 \cdot 0,00663 = 8,62 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Сопротивление двигателя при температуре 15 °С:

$$R_{\text{дв.+15}^\circ\text{C}} = R_{\text{оя}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ко}} = 3,17 \cdot 10^{-3} + 0,662 \cdot 10^{-3} + 2,8 = 6,63 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

2.2. Расчетная схема замещения механической системы

Кинематические схемы механической части электроприводов промышленных агрегатов могут быть весьма сложными, состоящими из нескольких инерционных масс и соединяющих их упругих связей. На практике многомассовую упругую механическую систему сводят к двухмассовой. На рисунке 2 представлена структурная схема механической системы электропривода в виде простейшей двухмассовой.

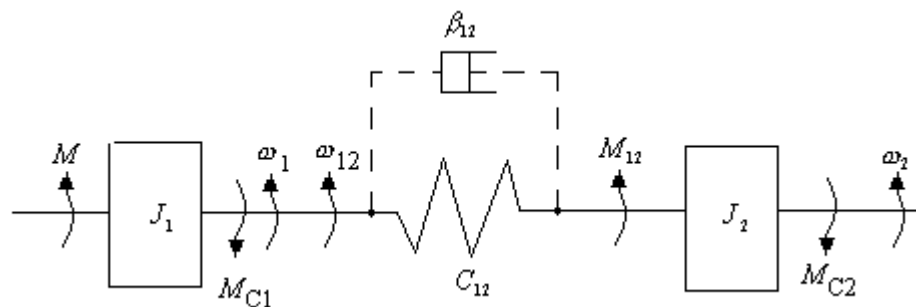


Рисунок 4 – Расчётная схема замещения двухмассовой механической системы привода

2.3. Структурная схема двухмассовой механической системы

Структурная схема двухмассовой механической системы изображена на рисунке 3.

Параметры структурной схемы механической системы:

M - вращающий момент, развиваемый двигателем;

M_{c1}, M_{c2} - соответственно моменты сопротивления первой и второй массы;

M_{12} - упругий момент;

ω_1, ω_2 - соответственно угловая скорость первой и второй массы.

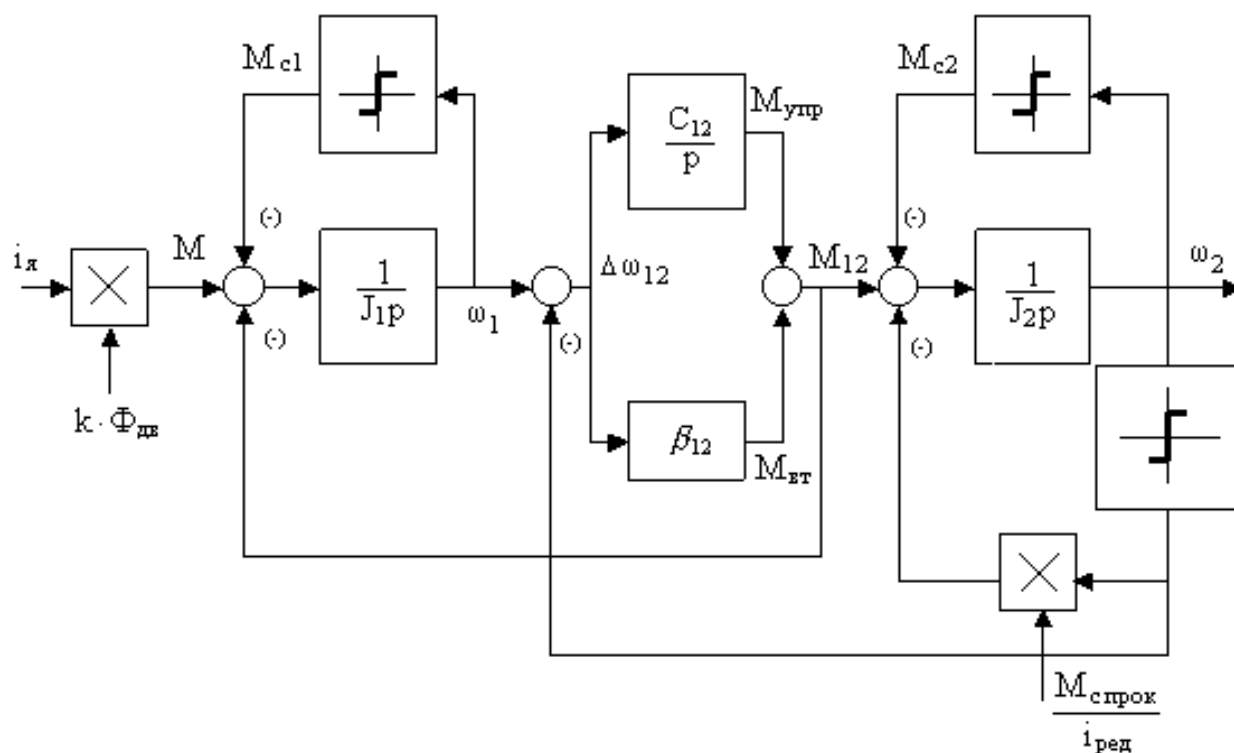


Рисунок 5 – Структурная схема механической системы

Для определения суммарного момента инерции механической части привода необходимо знать моменты инерции всех движущихся частей механизма:

$$J_M = 0,1 \cdot J_{дв} = 0,1 \cdot 5125 = 512,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{ момент инерции муфты};$$

$$J_p = 0,197 \cdot J_{дв} = 0,197 \cdot 5125 = 1009,62 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{ момент инерции редуктора};$$

$$J_{\text{шп}} = \frac{m_{\text{шп}} \cdot D_{\text{шп}}^2}{8} = \frac{3250 \cdot 0,58^2}{8} = 48,437 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{момент инерции шпинделя с}$$

помощью равенства [5, стр.11]:

$$\frac{m_{\text{шп}} \cdot D_{\text{шп}}^2}{8} = \frac{\rho_{\text{ст}} \cdot \pi \cdot l_{\text{шп}} \cdot D_{\text{шп}}^4}{32},$$

$$D_{\text{шп}} = \sqrt{\frac{4 \cdot m_{\text{шп}}}{\rho_{\text{ст}} \cdot \pi \cdot l_{\text{шп}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3250}{7870 \cdot \pi \cdot 4,41}} = 0,345 \text{ м};$$

$$J_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot D_{\text{в}}^2}{8} = \frac{5570 \cdot 0,58^2}{8} = 234,218 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{момент инерции валков [3,}$$

стр.11];

$$J_{\text{с}} = \frac{m_{\text{с}} \cdot D_{\text{в}}^2}{4} = \frac{6000 \cdot 0,58^2}{8} = 504,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{момент инерции слитка [3, стр.11];}$$

$$\rho_{\text{ст}} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность стали.}$$

Тогда суммарный момент инерции механической части привода максимальный (со слитком):

$$J_{\Sigma} = J_{\text{м}} + J_{\text{р}} + (J_{\text{ш}} + J_{\text{в}}) \cdot \frac{2}{i^2} + \frac{J_{\text{сл}}}{i^2} = 512,5 + 1009,62 + (48,43 + 234,21) \cdot \frac{2}{2,25^2} + \frac{504,6}{2,25^2} =$$

$$= 1841 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Суммарный момент инерции механической части привода минимальный (без слитка):

$$J_{\Sigma} = J_{\text{м}} + J_{\text{р}} + (J_{\text{ш}} + J_{\text{в}}) \cdot \frac{2}{i^2} = 512,5 + 1009,62 + (48,43 + 234,21) \cdot \frac{2}{2,25^2} =$$

$$= 1690,93 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Эквивалентный момент инерции механизма:

$$J_{\Sigma \text{ макс}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{м макс}} = 5125 + 1841 = 6966 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{\Sigma \text{ мин}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{м мин}} = 5125 + 1690,93 = 6815 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Эквивалентная угловая жесткость вала:

$$C_{\varphi 12} = \frac{J_p \cdot G}{k \cdot l_B} = \frac{\pi \cdot d_B^4 \cdot G}{32 \cdot k \cdot l_B} = \frac{\pi \cdot 0,15^4 \cdot 8,1 \cdot 10^{10}}{32 \cdot 1,2 \cdot 6,8} = 493105,2 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}},$$

где с учетом длины вала принято $k = 1,2$;

J_p – полярный момент инерции сечения вала, м^4 ;

G – модуль сдвига для стали, $\text{Н}/\text{м}^2$.

Эквивалентная угловая жесткость механизма:

$$C_{12} = \frac{C_{\varphi M}}{i^2} = \frac{493105}{2,25^2} = 97403,5 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}.$$

Угловая частота внутренних колебаний двухмассовой системы:

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{C_{\varphi 12} \cdot (J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}} = \sqrt{\frac{97403,5 \cdot (5125 + 1841)}{5125 \cdot 1841}} = 8,48 \text{ рад/с},$$

где

$J_1 = 5125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент инерции первой массы;

$J_2 = 1841 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент инерции второй массы.

Коэффициент внутреннего вязкого трения:

$$\beta_{12} = \frac{\lambda_{\text{вт}} \cdot C_{12}}{\pi \cdot \omega_{12}} = \frac{0,1 \cdot 97403,5}{3,14 \cdot 8,48} = 365,8 \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}},$$

где

$\lambda_{\text{вт}} = 0,1 - 0,2$ - логарифмический декремент затухания, характеризующий естественное затухание механических колебаний под действием внутренних сил вязкого трения.

Момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы:

$$M_{C1} = C \cdot I_{\text{дв.ном}} - M_{\text{дв.ном}} = 27,26 \cdot 3620 - 95541 = 3140,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления типа сухого трения на валу второй массы:

$$M_{C2} = (a_2 + b_2) \cdot M_{\text{дв.н}} = (0,0555 + 0,0555) \cdot 95541 = 10605 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где

$$a_2 = b_2 = \frac{1 - \eta_{\text{пер}}}{2 \cdot \eta_{\text{пер}}} = \frac{1 - 0,9}{2 \cdot 0,9} = 0,0555 \text{ - коэффициенты постоянных и переменных}$$

потерь;

$\eta_{\text{пер}} = 0,9$ – коэффициент полезного действия передачи;

Минимальный момент нагрузки:

$$M_{c \text{ мин}} = M_{c1} + M_{c2} = 3140,2 + 10605 = 13745,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальный момент нагрузки:

$$M_{c \text{ макс}} = M_{c1} + M_{c2} + \frac{M_{\text{п}} \cdot (1 + b_2)}{i} = 3140,2 + 10605 + \frac{200970 \cdot (1 + 0,0555)}{2,25} = 108 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

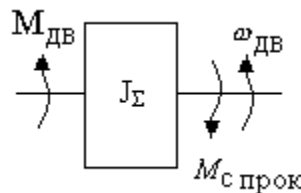


Рисунок 6 – Схема замещения одномассовой механической системы

3. СИЛОВАЯ ЦЕПЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЭП

3.1. Выбор рода тока и типа электропривода

Исходя из технологических требований к приводу прокатной клетки становится очевидным, что наилучшим образом поддержания заданной скорости с высокой степенью точности при изменяющемся моменте на валу может обеспечить лишь привод, выполненный на двигателе постоянного тока, управляемым быстродействующим тиристорным преобразователем. Привод, реализованный по системе «тиристорный преобразователь – двигатель», является наиболее быстродействующим, устойчивым к внешним возмущениям и обладающим наибольшей точностью поддержания заданных параметров.

Для питания электродвигателя в регулируемом электроприводе постоянного тока применяются следующие системы преобразовательных устройств:

- генератор – двигатель (Г-Д);
- тиристорный преобразователь – двигатель (ТП-Д).

Система Г – Д характеризуется своей простотой, малым влиянием на питающую сеть. К недостаткам данного устройства следует отнести большую установленную мощность электрических машин, большое количество коммутирующих аппаратов, шумность системы, невысокий КПД ($\eta = 0.86$).

Система ТП – Д обладает многими достоинствами:

- большая жесткость электромеханических характеристик;
- высокий КПД ($\eta = 0.9$);
- бесшумность в работе;
- простота в обслуживании и эксплуатации.

Следует отметить, что наряду со значительными преимуществами система обладает рядом недостатков. Преобразователь имеет одностороннюю проводимость, то есть нужно применять для реверсирования двигателя два комплекта тиристоров, работа управляемого выпрямителя характеризуется режимом прерывистого тока, при котором резко падает жесткость характеристик, система имеет малую перегрузочную способность по току и напряжению.

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

Выбор комплектного электропривода производится исходя из данных выбранного ранее электродвигателя:

- номинальной мощности $P_{\text{ном}} = 3150$ кВт;
- номинального тока $I_{\text{дв.ном}} = 3620$ А ;
- номинальной скорости вращения $n_{\text{дв.ном}} = 315$ об/мин ;
- максимального значения тока двигателя, обеспечиваемого преобразователем при скорости вращения двигателя $\omega_{\text{ном}}: I_{\text{макс}} = 2,25 \cdot I_{\text{ном}} = 8145$ А.

На основании перечисленных данных выбираем комплектный электропривод постоянного тока КТЭУ–4000/930–1132111–УХЛ4 (О4), в комплект которого входят:

1. Согласующий (силовой) трансформатор ТМНП–6300/10У2, схема и группа соединения обмоток которого $Y/\Delta-\square\square$ или $\Delta/\Delta-0$.

Таблица 4 – Параметры силового трансформатора ТМНП–6300/10У2

Номинальное напряжение первичной обмотки	$U_{1л} = 10 \text{ кВ}$
Номинальное напряжение вторичной обмотки	$U_{2л} = 893 \text{ В}$
Номинальная мощность	$P_{2Н} = 5000 \text{ кВт}$
Относительное напряжение короткого замыкания	$U_{кз\%} = 8,2 \%$
Номинальный фазный ток вторичной обмотки	$I_{2фном} = 3270 \text{ А}$
Потери холостого хода	$P_{хх} = 9,5 \text{ кВт}$
Потери короткого замыкания	$\Delta P_{кз} = 39 \text{ кВт}$
Активное сопротивление обмотки трансформатора	$R_{тр.ф} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$
Индуктивное сопротивление обмотки трансформатора	$X_{тр.ф} = 22,36 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$
Индуктивность обмотки трансформатора	$L_{тр.ф} = 7,11 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$

Номинальное значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора равно линейному, так как схема соединения обмоток звезда / треугольник:

$$U_{2фном} = U_{2л} = 893 \text{ В.}$$

Активное, индуктивное сопротивления и индуктивность обмоток трансформатора на фазу [1, стр.10]:

$$R_{тр.ф.} = \frac{\Delta P_{кз}}{m_2 \cdot I_{2фном}^2} = 0,0012 \text{ Ом,}$$

где

$\Delta P_{кз}$ – активная мощность потерь короткого замыкания в обмотках трансформатора;

$m_2 = 3$ – число фаз питающей сети.

$$Z_{\text{тр.ф.}} = \frac{U_{\text{кз}} \% \cdot U_{2\text{ф ном}}}{100 \cdot I_{2\text{ф ном}}} = 0,02239 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{тр.ф.}} = \sqrt{Z_{\text{тр.ф.}}^2 - R_{\text{тр.ф.}}^2} = 0,02236 \text{ Ом};$$

$$L_{\text{тр.ф.}} = \frac{X_{\text{тр.ф.}}}{\omega_c} = 7,11 \cdot 10^{-5} \text{ Гн},$$

где

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

2. Тиристорный преобразователь ТПП1–4000–1050–УХЛ4 (О4)–11

Блок управления имеет следующие параметры и характеристики:

- схема выпрямления мостовая, $m_b=6$
- управление преобразователем раздельное
- углы управления:
 - начальный 120°
 - минимальный $\geq 10^\circ$
 - максимальный $\leq 160^\circ$
- размах опорного напряжения, $2U_{\text{опмак}}$ 8-10 В
- коэффициент передачи управляющего органа
на входе СИФУ, K_{yo} 1
- временная пауза, t_3 1 мс
- коэффициент передачи датчика тока, $K_{\text{дт}}$ 0,001 В/А
- входным сигналом логического устройства является сигнал с выхода адаптивного устройства преобразователя.

Коэффициент передачи тиристорного преобразователя $k_{\text{тп}} = 231$

3. Электродвигатель постоянного тока П2–2133–3,15УХЛ4.

4. Тахогенератор типа ТС1 (BR), коэффициент передачи которого $k_{\text{дс}} = 2,196$ В·с/рад.

5. Тиристорный преобразователь цепи возбуждения КТЭ–100/500–УХЛ4.
6. Датчик напряжения, коэффициент передачи которого $k_{дн} = 0,0095$.
7. Датчик ЭДС, коэффициент передачи которого $k_{дэ} = 1$.

3.2. Определение величины индуктивности сглаживающего дросселя

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

Определение необходимой величины индуктивности сглаживающего дросселя уз условия ограничения зоны прерывистых токов:

Наибольшая ширина зоны прерывистых токов при отдельном управлении имеет место при угле управления $\alpha = 90^\circ$, тогда минимальное значение индуктивности цепи выпрямленного тока (тока нагрузки) для получения гранично-непрерывного режима определяется выражением [1, стр.20]:

$$L_{кн1} = \frac{1}{\omega_c} \cdot K_{гр.макс.} \cdot \frac{U_{2ф ном}}{K_{U2} \cdot I_{д гр}},$$

где

$I_{д гр} = 0,15 \cdot I_{ном} = 543 \text{ А}$ – значение начально-непрерывного тока;

$K_{U2} = 0,428$ – расчетный коэффициент, характеризующий соотношение $U_{2ф}/E_{d0}$ в идеальном выпрямителе [1, стр.9];

$$K_{гр.макс.} = 1 - \frac{\pi}{m_B} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{m_B} = 0,093;$$

Тогда

$$L_{кн1} = \frac{1}{\omega_c} \cdot K_{гр.макс.} \cdot \frac{U_{2фном}}{\sqrt{3} \cdot K_{U2} \cdot I_{дгр}} = \frac{1}{314} \cdot 0,093 \cdot \frac{893}{\sqrt{3} \cdot 0,428 \cdot 543} = 0,657 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность добавочного дросселя [1, стр.20]:

$$L_{др1} = L_{кн1} - \Sigma L_{тр.н} - L_{дв},$$

где

$\Sigma L_{тр.н} = 2 \cdot L_{тр.ф} = 14,22 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$ – суммарная индуктивность обмоток трансформатора в контуре выпрямленного тока;

$$L_{дв} = \gamma \cdot \frac{U_{дв ном}}{p \cdot I_{дв ном} \cdot \omega_{ном}} = 0,25 \cdot \frac{930}{7 \cdot 3620 \cdot 32,97} = 2,78 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} - \text{индуктивность}$$

цепи якоря двигателя [3, стр.35];

$\gamma = 0,25$ – для компенсированных двигателей [3, стр.35].

Тогда

$$L_{др1} = L_{кн1} - \Sigma L_{тр.н} - L_{дв} = 0,237 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

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

Пульсации выпрямленного напряжения приводят к пульсациям выпрямленного тока, которые ухудшают коммутацию двигателя и увеличивают его нагрев. Кривая выпрямленного напряжения содержит две составляющие – постоянную, равную среднему значению выпрямленного напряжения $E_d = E_{d0} \cos \alpha$, и переменную, состоящую из спектра гармоник. Ограничиваемая с учетом

влияния первой гармоники необходимая величина индуктивности цепи выпрямленного тока определяется по выражению:

$$L_{\text{кн2}} = \frac{E_{d(1)\text{макс}} \cdot 100}{m_B \cdot \omega_c \cdot p_{(1)} \% \cdot I_d},$$

где

$p_{(1)} \%$ - допустимое действующее значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах;

$$I_d = I_{\text{НОМ}} = 3620 \text{ А};$$

$$E_{d(1)\text{макс}} = \frac{U_{2\phi\text{НОМ}} \cdot \sqrt{2} \cdot m_B}{\sqrt{3} \cdot K_{U2} \cdot (m_B^2 - 1)} = \frac{893 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 0,428 \cdot (36 - 1)} = 292 \text{ В} - \text{ действующее}$$

значение первой гармоники пульсирующего выпрямленного напряжения при угле управления $\alpha = 90^\circ$.

Принимаем $p_{(1)} \% = 3 \%$ [1,стр.20].

Тогда

$$L_{\text{кн2}} = \frac{E_{d(1)\text{макс}} \cdot 100}{m_B \cdot \omega_c \cdot p_{(1)} \% \cdot I_d} = \frac{292 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 3 \cdot 3620} = 2,47 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Индуктивность добавочного дросселя [1,стр.21]:

$$L_{\text{др2}} = L_{\text{кн2}} - \sum L_{\text{тр.н}} - L_{\text{дв}} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Выбираем сглаживающий дроссель СРОСЗ–2000–МУХЛ4 со следующими параметрами, приведенными в таблице 5:

Таблица 5 – Параметры дросселя СРОСЗ–2000–МУХЛ4

Название	Обозначение	Величина
Номинальный ток, А	$I_{\text{ндр}}$	4000
Индуктивность, Гн	$L_{\text{др}}$	$0,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$
Сопротивление, Ом	$R_{\text{др}}$	$5 \cdot 10^{-4}$

3.3. Выбор тиристорного преобразователя и трансформатора цепи возбуждения

Исходя из значений тока и напряжения обмотки возбуждения, выбираем тиристорный преобразователь обмотки возбуждения типа КТЭ-100/500-УХЛ4.

Параметры тиристорного возбудителя приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры тиристорного возбудителя КТЭ-100/500-УХЛ4

Наименование	Обозначение	Данные
1	2	3
Схема выпрямления		трёхфазная мостовая
Число пульсаций	m_b	6
Размах опорного напряжения, В	$2 \cdot U_{опмакс}$	8 - 10
Начальный угол управления, град.	α_0	110
Минимальный угол управления, град.	$\alpha_{мин}$	10
Максимальный угол управления, град	$\alpha_{макс}$	150

Исходя из значений тока и напряжения обмотки возбуждения, выбираем силовой трансформатор типа ТСЗП–16/0,7–У3. Параметры трансформатора приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры трансформатора ТСЗП–16/0,7–У3

Наименование	Обозначение	Величина
2	3	4
Номинальное линейное напряжение первичной обмотки, В	$U_{1лн}$	380
Номинальное линейное напряжение вторичной обмотки, В	$U_{2лн}$	460

Относительное напряжение короткого замыкания, %	$U_{кз}$	6
Активная мощность потерь короткого замыкания в обмотках, Вт	$\Delta P_{кз}$	330
Номинальная мощность вторичной обмотки, кВ·А	$P_{2н}$	58
Номинальный фазный ток вторичной обмотки, А	$I_{2фн}$	100
Номинальное фазное напряжение вторичной обмотки, В	$U_{2фн}$	265,58
Активное сопротивление, Ом	$R_{тр.ф}$	0,011
Индуктивное сопротивление, Ом	$X_{тр.ф}$	0,15897
Полное сопротивление, Ом	$Z_{тр.ф}$	0,159
Индуктивность обмоток, Гн	$L_{тр.ф}$	$5,06 \cdot 10^{-4}$

Номинальное фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора для соединения в звезду:

$$U_{2фн} = \frac{U_{2лн}}{\sqrt{3}} = \frac{460}{\sqrt{3}} = 265,58 \text{ В.}$$

Активное сопротивление обмоток трансформатора на фазу [1,стр.10]:

$$R_{тр.ф.} = \frac{\Delta P_{кз}}{m_2 \cdot I_{2ф ном}^2} = \frac{330}{3 \cdot 100^2} = 0,011 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление обмоток трансформатора на фазу [1,стр.10]:

$$Z_{тр.ф.} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{2ф ном}}{100 \cdot I_{2ф ном}} = \frac{6 \cdot 265,58}{100 \cdot 100} = 0,159 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление обмоток трансформатора на фазу [1,стр.10]:

$$X_{тр.ф.} = \sqrt{Z_{тр.ф.}^2 - R_{тр.ф.}^2} = \sqrt{0,011^2 - 0,159^2} = 0,15897 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмоток трансформатора на фазу [1,стр.10]:

$$L_{\text{тр.ф.}} = \frac{X_{\text{тр.ф.}}}{\omega_c} = \frac{0,15897}{314} = 5,06 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

3.4. Определение параметров якорной цепи

Расчётное сопротивление силовой цепи:

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{дв.гор}} + \sum R_{\text{тр.н}} + R_{\text{к}} + R_{\text{др}},$$

где

$\sum R_{\text{тр.н}} = 2 \cdot R_{\text{тр.ф}} = 2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} = 2,43 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ - суммарное сопротивление обмоток трансформатора в контуре выпрямленного тока [1,стр.17];

$$R_{\text{к}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot X_{\text{тр.ф.}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,02236}{2 \cdot 3,14} = 0,0213 \text{ Ом} - \text{сопротивление, вносимое за}$$

счет коммутации анодных токов;

Тогда

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{дв.гор}} + \sum R_{\text{тр.н}} + R_{\text{к}} + R_{\text{др}} = 0,0329 \text{ Ом.}$$

Расчётное значение индуктивности силовой цепи:

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + \sum L_{\text{тр.н}} + L_{\text{др}},$$

где

$\sum L_{\text{тр.н}} = 2 \cdot L_{\text{тр.ф}} = 2 \cdot 0,1422 \cdot 10^{-3} = 0,284 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ - суммарная индуктивность обмоток трансформатора в контуре выпрямленного тока;

Тогда

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + \sum L_{\text{тр.н}} + L_{\text{др}} = 0,62 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Электромагнитная постоянная силовой цепи:

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = 0,0188 \text{ с.}$$

Электромеханическая постоянная якорной цепи:

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} \cdot R_{яц}}{C^2} = 0,308 \text{ с.}$$

Соотношение постоянных времени:

$$m = \frac{T_M}{T_{яц}} = 16,4 \geq 4.$$

Так как $m > 4$, то для определения оптимальной настройки регуляторов может быть применена методика [1].

3.5. Определение параметров цепи обмотки возбуждения двигателя

Расчётное сопротивление силовой цепи:

$$R_{ов.ц} = R_{ов.гор} + \sum R_{тр.н} + R_k ,$$

где

$\sum R_{тр.н} = 2 \cdot R_{тр.ф} = 2 \cdot 0,011 = 0,022 \text{ Ом}$ - суммарное сопротивление обмоток трансформатора в контуре выпрямленного тока [3, стр.17];

$$R_k = \frac{m_B \cdot X_{тр.ф}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,15897}{2 \cdot 3,14} = 0,1518 \text{ Ом} - \text{сопротивление, вносимое за}$$

счет коммутации анодных токов;

$R_{ов.гор} = 1,3 \cdot R_{ов} = 1,3 \cdot 2,35 = 3,055$ – сопротивление обмотки возбуждения двигателя при температуре 75°C ;

Тогда

$$R_{ов.ц} = R_{дв.гор} + \sum R_{тр.н} + R_k = 3,2288 \text{ Ом.}$$

По кривой намагничивания двигателя определяются значения [3, стр.113]:

$$\Delta\Phi = 0,04 \text{ Вб};$$

$$\Delta I_B = 10 \text{ А.}$$

Значение потока рассеяния:

$$\Phi_s = (\sigma - 1) \cdot \Phi_H = (1,18-1) \cdot 0,115 = 0,0207 \text{ Вб},$$

где

$\sigma = 1,18$ – коэффициент учёта рассеяния;

Φ_H – номинальный поток двигателя.

Индуктивность цепи основного потока сцепления по формуле [1, стр.66]:

$$L_{\text{ов}} = 2p \cdot W_{\text{ов}} \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta I_{\text{в}}} = 14 \cdot 201 \cdot \frac{0,04}{10} = 11,256 \text{ Гн},$$

где

$W_{\text{ов}} = 201$ – количество витков на полюс.

Значение индуктивности потока рассеяния:

$$L_s = 0,18 \cdot L_{\text{в}} = 0,18 \cdot 11,256 = 2,026 \text{ Гн}.$$

Постоянная времени основного потока сцепления обмотки возбуждения двигателя:

$$T_{\text{ов}} = \frac{L_{\text{ов}}}{R_{\text{овц}}} = \frac{11,256}{3,2288} = 3,486 \text{ с}.$$

Постоянная времени потока рассеяния обмотки возбуждения двигателя:

$$T_s = \frac{L_{\text{пв}} + L_s}{R_{\text{овц}}} = \frac{10,12 \cdot 10^{-4} + 2,026}{3,2288} = 0,627 \text{ с},$$

где

$L_{\text{пв}} = \sum L_{\text{тр.н}} = 2 \cdot L_{\text{тр.ф}} = 2 \cdot 5,06 \cdot 10^{-4} = 10,12 \cdot 10^{-4}$ – индуктивность цепи тиристорного возбудителя.

Постоянная времени контура вихревых токов [1, стр.68]:

$$T_k = 0,1 \cdot T_{\text{ов}} = 0,1 \cdot 3,486 = 0,3486 \text{ с}.$$

3.6. Расчет и построение области работы электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода (замкнутой системы), ограниченная значением $\omega = \pm \omega_{\text{макс}}$ и

зависимостью $\pm I_{\text{доп}}(\omega)$, должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой системы преобразователь – двигатель. Условия существования электромеханических характеристик электропривода: при пониженном напряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления электромеханическая характеристика разомкнутой системы должна быть расположена выше точки с координатами $\omega = \omega_{\text{макс}}$ и $I = I_{\text{н}}$.

Порядок проверки условий:

- 1) Строится заданная область существования электромеханических характеристик электропривода, ограниченная значениями $\omega = \pm \omega_{\text{макс}}$ и $I = \pm I_{\text{доп}}(\omega)$.
- 2) При выбранном значении $\alpha_{\text{мин}} = 10^\circ$ рассчитывается и строится электромеханическая характеристика системы преобразователь – двигатель:

$$\omega_{\text{макс}}(I_{\text{дв.в}}) = \frac{1}{C} \cdot [K_c \cdot E_{\text{до}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{дв.в}}],$$

где

$$E_{\text{до}} = \frac{U_{2\phi}}{K_{U2} \cdot \sqrt{3}} = 1204 \text{ В} - \text{среднее значение ЭДС преобразователя при угле}$$

управления $\alpha = 0^\circ$;

$\alpha_{\text{мин}} = 10^\circ$ – минимальный угол управления;

K_c – коэффициент, учитывающий заданное снижение напряжения сети;

$I_{\text{дв.в}}$ – ток двигателя в выпрямительном режиме работы тиристорного преобразователя.

Расчет производится при двух значениях напряжения сети $K_c = 0,85$, $K_c = 1$ и двух значениях потока возбуждения двигателя $\Phi_{\text{дв.ном}} = 0,115 \text{ Вб}$, $\Phi_{\text{дв.мин}} = 0,072 \text{ Вб}$.

- 1) $\Phi_{\text{дв.ном}} = 0,115 \text{ Вб}$:

Значение скорости при $I_{\text{дв.в}} = 0 \text{ А}$, $K_c = 0,85$

$$\omega_{\text{макс } 1}(I_{\text{дв.в}}) = \frac{1}{C} \cdot [K_c \cdot E_{\text{до}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{дв.в}}] = 36,97 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Значение скорости при $I_{\text{дв.в}}=8145$ А, $K_c=0,85$

$$\omega_{\text{макс } 2}(I_{\text{дв.в}}) = \frac{1}{C} \cdot [K_c \cdot E_{\text{до}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{дв.в}}] = 27,14 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Значение скорости при $I_{\text{дв.в}}=0$ А, $K_c=1$

$$\omega_{\text{макс } 3}(I_{\text{дв.в}}) = \frac{1}{C} \cdot [K_c \cdot E_{\text{до}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{дв.в}}] = 43,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Значение скорости при $I_{\text{дв.в}}=8145$ А, $K_c=1$

$$\omega_{\text{макс } 4}(I_{\text{дв.в}}) = \frac{1}{C} \cdot [K_c \cdot E_{\text{до}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{дв.в}}] = 33,6 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

2) $\Phi_{\text{дв}} = 0,072$ Вб:

Значение скорости при $I_{\text{дв.в}}=0$ А, $K_c=0,85$

$$\omega_{\text{макс } 1}(I_{\text{дв.в}}) = \frac{1}{C} \cdot [K_c \cdot E_{\text{до}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{дв.в}}] = 59,07 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Значение скорости при $I_{\text{дв.в}}=8145$ А, $K_c=0,85$

$$\omega_{\text{макс } 2}(I_{\text{дв.в}}) = \frac{1}{C} \cdot [K_c \cdot E_{\text{до}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{дв.в}}] = 43,34 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Значение скорости при $I_{\text{дв.в}}=0$ А, $K_c=1$

$$\omega_{\text{макс } 3}(I_{\text{дв.в}}) = \frac{1}{C} \cdot [K_c \cdot E_{\text{до}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{дв.в}}] = 69,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Значение скорости при $I_{\text{дв.в}}=8145$ А, $K_c=1$

$$\omega_{\text{макс } 4}(I_{\text{дв.в}}) = \frac{1}{C} \cdot [K_c \cdot E_{\text{до}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{дв.в}}] = 53,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Область существования статических характеристик приведена на рисунке 5.

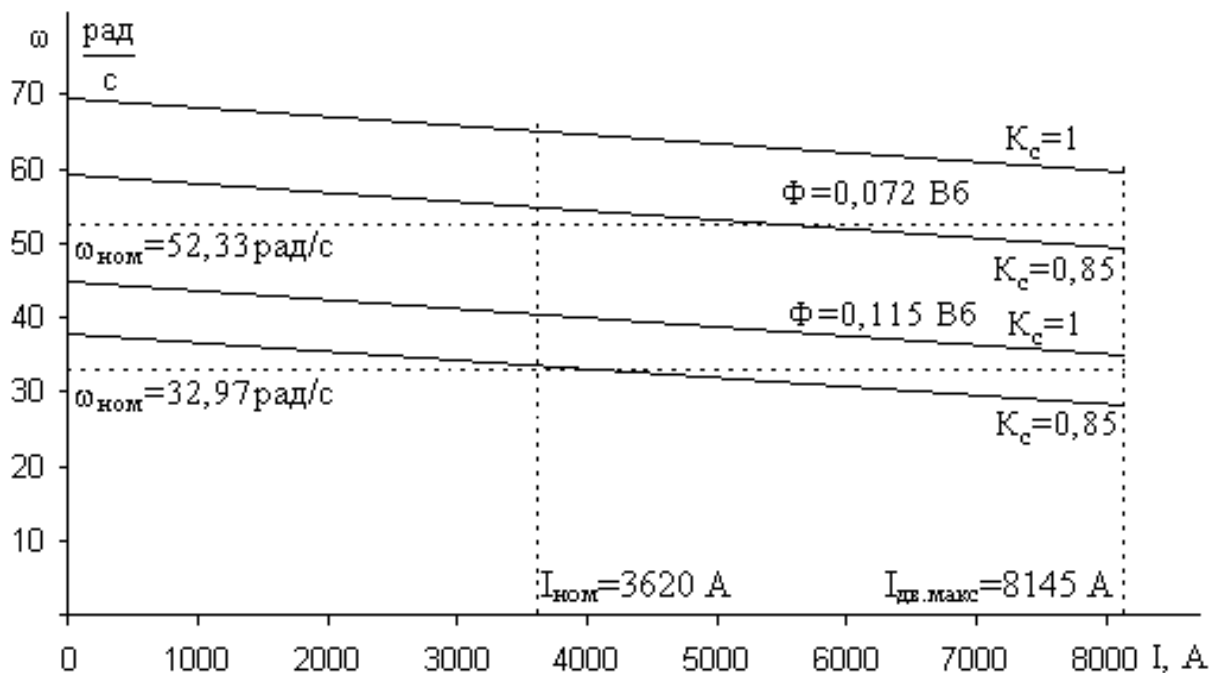


Рисунок 7 – Область существования статических характеристик

Как видно из приведенного рисунка, статические характеристики располагаются внутри области существования характеристик, то есть проектирование силовой части выполнено верно.

3.7. Структурная схема силового канала электропривода

Результаты предварительного расчета параметров элементов структурной схемы силового канала регулируемого электропривода сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты предварительного расчета параметров элементов структурной схемы силового канала регулируемого электропривода

№ п/п	Параметры элементов привода, наименование	Расчетная формула, обозначение	Данные	Примечание
1	2	3	4	5
1	Передаточное число редуктора	$i_{ред}$	6,48	Паспортные данные
2	Максимальная угловая	$\omega_{макс}$	52,33	Паспортные

1	2	3	4	5
3	Момент сопротивления нагрузки на валу электродвигателя при быстрых перемещениях, кН · м	$(M_{с\text{нагр}})_{х.х.}$	13,745	- // -
4	Максимальный момент сопротивления нагрузки на валу электродвигателя при рабочих перемещениях, кН · м	$(M_{с\text{нагр}})_{\text{раб}}$	108	- // -

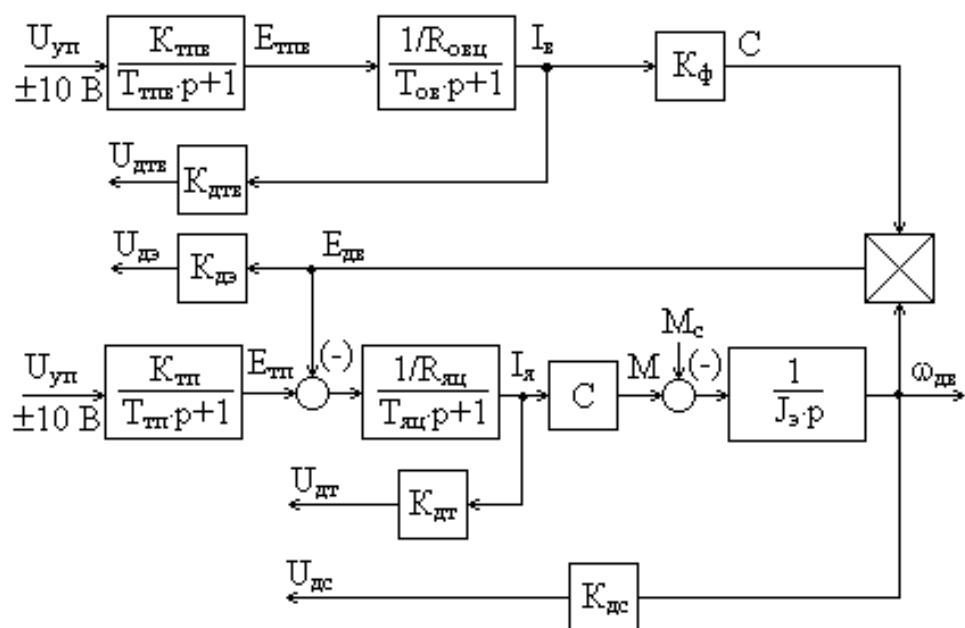


Рисунок 8 – Структурная схема силового канала

4. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

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

Методика синтеза многоконтурных САУ РЭП хорошо разработана для линейных систем. Методика основана на связи показателей качества САУ с формой ЛЧХ разомкнутой системы. Оптимизация достигается за счёт приведения асимптотической ЛАЧХ разомкнутых контуров скорости и тока к рекомендуемому виду. Структура 3 является самой сложной структурой, она представляет собой двухконтурную САУ подчинённого регулирования с ПИ-регуляторами тока и скорости.

В зависимости от вида аппроксимации тиристорного преобразователя встречаются два варианта структуры 3:

- Структура 3а: тиристорный преобразователь представлен линейным безинерционным звеном ($T_{\mu}=0$);
- Структура 3б: тиристорный преобразователь представлен инерционным звеном с некоторой фиктивной малой постоянной времени контура тока

$$T_{\mu} = 0,5 \cdot \frac{1}{m_{2b} \cdot f_C} = 0,5 \cdot \frac{1}{6 \cdot 50} = 1,66667 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Синтез структуры проводится без учёта внутренней обратной связи по ЭДС двигателя, предполагается, что она не оказывает влияния или скомпенсирована.

Расчёт для структуры 3б осуществляется по методике 8 [1, стр.40]. В ней оптимизируется реакция системы на управляющее воздействие и рекомендуется одна точка настройки F, имеющая следующие коэффициенты оптимальной настройки [1, стр.41]:

$$a_T = 2, \quad a_c = 2, \quad b_c = 2.$$

Расчётные выражения для оптимальных параметров настройки приведены в [1, стр.40].

Принимаем:

$$U_{рс.доп} = 2 \cdot U_{оп.макс} = 10 \text{ В};$$

$$U_{рэ.доп} = 2 \cdot U_{оп.макс} = 10 \text{ В};$$

$$U_{зэ} = 10 \text{ В};$$

$$U_{зс} = 10 \text{ В};$$

$$I_{доп.макс} = 2,25 \cdot I_{дв} = 8145 \text{ А}.$$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя:

$$K_{тп.макс} = K_{y0} \cdot K_{ув.макс} = 0,611 \cdot 378,05 = 231 - \text{максимальное значение}$$

коэффициента тиристорного преобразователя,

где

$$K_{y0} = \frac{U_{у.макс}}{U_{уп.макс}} = \frac{6,11}{10} = 0,611 - \text{коэффициент усиления управляющего}$$

органа;

$$K_{ув.макс} = \frac{\pi \cdot E_{до}}{2 \cdot U_{оп.макс}} = \frac{3,14 \cdot 1204}{10} = 378,05,$$

$2 \cdot U_{оп.макс}$ – размах опорного напряжения СИФУ.

$$T_{тп} = \frac{0,5}{m_B \cdot f_c} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с} - \text{постоянная времени тиристорного}$$

преобразователя.

Значение максимальной угловой частоты вращения двигателя:

$$\omega_{\text{макс}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв.макс}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 500}{30} = 52,33 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Коэффициент усиления обратной связи по току:

$$K_T = \frac{U_{\text{рс.доп}}}{I_{\text{доп.макс}}} = \frac{10}{8145} = 0,00122 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Коэффициент усиления обратной связи по скорости:

$$K_c = \frac{U_{\text{зс.доп}}}{\omega_{\text{макс}}} = \frac{10}{52,33} = 0,191 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Коэффициент усиления контура скорости:

$$K_{\text{рс}} = \frac{J_{\text{э}} \cdot K_T}{C \cdot K_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu}} = \frac{6960 \cdot 0,00122}{27,26 \cdot 0,191} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 246,5.$$

Постоянная времени контура тока:

$$T_{\text{рт}} = T_{\text{яц}} = 0,0188 \text{ с}.$$

Постоянная времени контура скорости:

$$T_{\text{рс}} = a_c \cdot a_T \cdot b_c \cdot T_{\mu} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 = 0,01 \text{ с}.$$

Коэффициент усиления контура тока:

$$K_{\text{рт}} = \frac{T_{\text{яц}} \cdot R_{\text{яц}}}{K_{\text{ш}} \cdot K_T} \cdot \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu}} = \frac{0,0188 \cdot 0,0329}{231 \cdot 0,00122} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,00167} = 0,655.$$

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_T = a_T \cdot T_{\mu} = 2 \cdot 0,00167 = 0,00333 \text{ с}.$$

Коэффициент передачи датчика скорости:

$$K_{\text{дс}} = \frac{U_{\text{тг}}}{\omega_{\text{тг}}} = \frac{230}{104,72} = 2,196 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}},$$

где

$$U_{\text{тг}} = 230 \text{ В}, \omega_{\text{тг}} = 104,72 \text{ с}^{-1}.$$

Коэффициента передачи цепи обратной связи по скорости:

$$K_{\text{ос}} = \frac{K_c}{K_{\text{дс}}} = \frac{0,191}{2,196} = 0,086.$$

Коэффициент усиления датчика тока:

$$K_{дт} = 0,001.$$

Коэффициент передачи цепи обратной связи по току:

$$K_{от} = \frac{K_T}{K_{дт}} = \frac{0,00122}{0,001} = 1,22 \frac{В}{А}.$$

Коэффициент положительной обратной связи:

$$K_{пос} = \frac{C}{K_{шт}} = \frac{27,26}{231} = 0,118 В \cdot с.$$

Логарифмические частотные характеристики контура скорости рассчитаны и построены на основании приведённых ниже выражений передаточных функций с использованием программы расчёта LACHGR.

Передаточная функция разомкнутого контура скорости оптимизированной двухконтурной САУ электропривода имеет вид [1, стр.48]:

$$\begin{aligned} W_{с.раз} &= \frac{(T_{рс} \cdot p + 1)}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T^2 \cdot p^2 \cdot (T_T \cdot p + 1)} = \frac{(0,01 \cdot p + 1)}{2 \cdot 4 \cdot 0,00333^2 \cdot p^2 \cdot (0,00333 \cdot p + 1)} = \\ &= \frac{0,01 \cdot p + 1}{2,954 \cdot 10^{-7} p^3 + 8,871 \cdot 10^{-5} \cdot p^2}. \end{aligned}$$

Передаточная функция по управлению замкнутого контура скорости оптимизированной двухконтурной САУ электропривода без фильтра на входе имеет вид [1, стр.48]:

$$\begin{aligned} W_{с.зам} &= \frac{\frac{1}{K_c} \cdot (T_{рс} \cdot p + 1)}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T^2 \cdot p^2 \cdot (T_T \cdot p + 1) + (T_{рс} \cdot p + 1)} = \\ &= \frac{\frac{1}{0,191} \cdot (0,01 \cdot p + 1)}{2 \cdot 4 \cdot 0,00333^2 \cdot p^2 \cdot (0,00333 \cdot p + 1) + (0,01 \cdot p + 1)} = \\ &= \frac{0,05235 \cdot p + 5,2356}{2,954 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8,871 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,01 \cdot p + 1}. \end{aligned}$$

Ожидаемые логарифмические частотные характеристики двухконтурной САУ электропривода представлены на рисунках 9, 10.

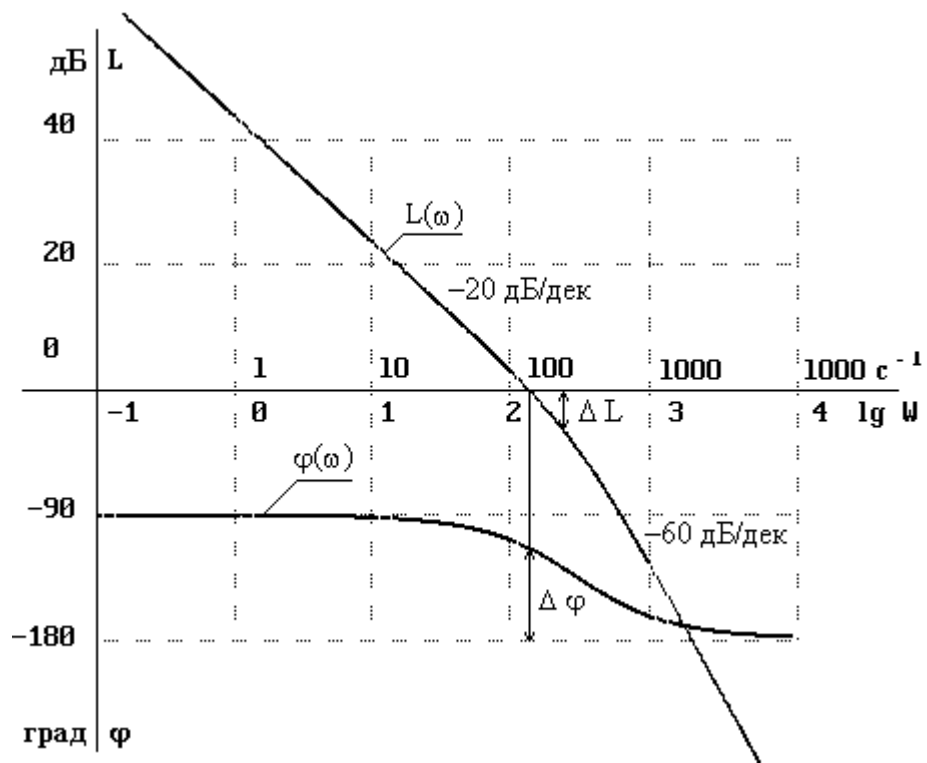


Рисунок 9 – ЛАЧХ разомкнутого контура. Запас устойчивости разомкнутой САУ: по фазе 65,478 град; по модулю $\Delta L=6$ дБ.

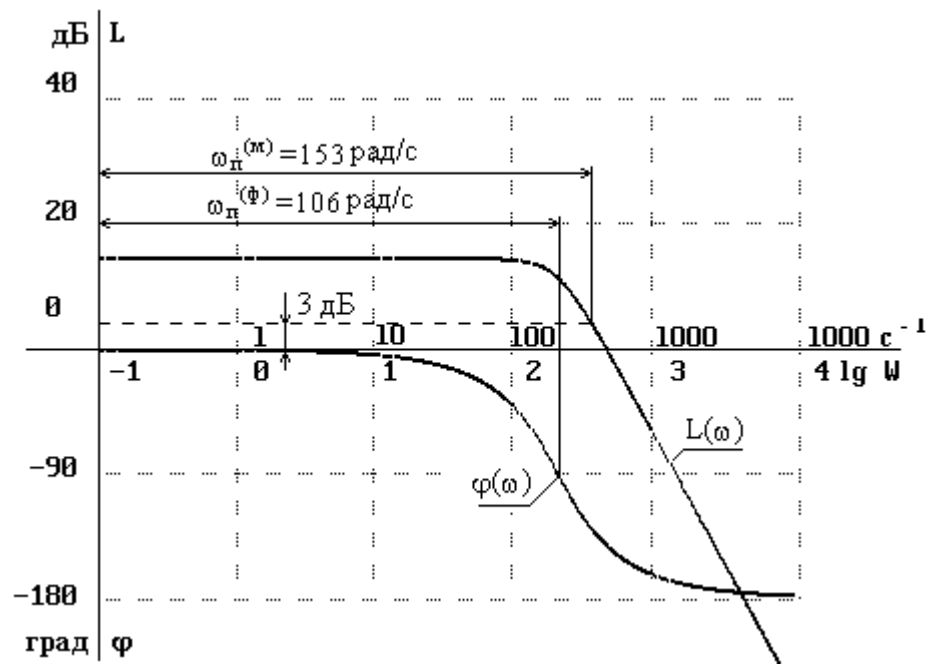


Рисунок 10 – ЛАЧХ замкнутого контура. Полоса пропускания замкнутой САУ: по фазе $f_n^{(\phi)}=17$ Гц; по модулю $f_n^{(m)}=23$ Гц.

Анализ частотных характеристик показывает, что электропривод обеспечивает требуемые запасы устойчивости и полосу пропускания.

5. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ «ТИРИСТОРНЫЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ – ОБМОТКА ВОЗБУЖДЕНИЯ»

Принимаем:

$$U_{\text{угвмакс}} = 10 \text{ В},$$

$$U_{\text{рэмакс}} = 10 \text{ В}.$$

Коэффициент усиления контура тока возбуждения:

$$K_{\text{рив}} = \frac{T_{1\text{об}} \cdot R_{\text{овц}}}{K_{\text{тв}} \cdot K_{\text{тв}} \cdot 2 \cdot (T_{\text{тв}} + T_{2\text{об}})} = \frac{4,311 \cdot 3,2288}{92,6 \cdot 0,18 \cdot 2 \cdot (0,00167 + 0,0485)} = 8,441,$$

где

$T_{1\text{об}}$ – большая постоянная времени структурной схемы цепи обмотки возбуждения двигателя, равная:

$$\begin{aligned} T_{1\text{об}} &= \frac{T_{\text{об}} + T_{\text{с}} + T_{\text{к}}}{2} + \sqrt{\left(\frac{T_{\text{об}} + T_{\text{с}} + T_{\text{к}}}{2}\right)^2 - T_{\text{с}} \cdot T_{\text{к}}} = \\ &= \frac{3,486 + 0,627 + 0,348}{2} + \sqrt{\left(\frac{3,486 + 0,627 + 0,348}{2}\right)^2 - 0,627 \cdot 0,348} = 4,311 \text{ с}; \end{aligned}$$

$T_{2\text{об}}$ – малая постоянная времени структурной схемы цепи обмотки возбуждения двигателя, равная:

$$\begin{aligned} T_{2\text{об}} &= \frac{T_{\text{об}} + T_{\text{с}} + T_{\text{к}}}{2} - \sqrt{\left(\frac{T_{\text{об}} + T_{\text{с}} + T_{\text{к}}}{2}\right)^2 - T_{\text{с}} \cdot T_{\text{к}}} = \\ &= \frac{3,486 + 0,627 + 0,348}{2} - \sqrt{\left(\frac{3,486 + 0,627 + 0,348}{2}\right)^2 - 0,627 \cdot 0,348} = 0,0485 \text{ с}; \end{aligned}$$

$K_{\text{тв}}$ – коэффициент усиления обратной связи по току возбуждения:

$$K_{\text{тв}} = \frac{U_{\text{рэмакс}}}{I_{\text{об}}} = \frac{10}{55} = 0,18 \frac{\text{В}}{\text{А}};$$

$T_{\text{тв}}$ – постоянная времени тиристорного возбудителя:

$$T_{\text{тпв}} = T_{\mu} = 0,00167 \text{ с};$$

$K_{\text{тпв}}$ – коэффициент усиления тиристорного преобразователя возбуждения в режиме непрерывного тока:

$$K_{\text{тпв}} = \frac{\pi \cdot E_{\text{до}} \cdot K_{\text{yo}}}{2 \cdot U_{\text{оп.макс}}} = \frac{3,14 \cdot 620,51 \cdot 0,611}{10} = 119,1;$$

$E_{\text{до}}$ – среднее значение выпрямленной ЭДС:

$$E_{\text{до}} = \frac{U_{2\phi \text{н}}}{K_{U2}} = \frac{265,58}{0,428} = 620,51 \text{ В};$$

K_{yo} – коэффициент передачи ячейки согласования на входе СИФУ:

$$K_{\text{yo}} = 2 \cdot U_{\text{оп макс}} \cdot \frac{\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{мин}}}{180^{\circ} \cdot U_{\text{утв макс}}} = 10 \cdot \frac{120 - 10}{180 \cdot 10} = 0,611 \text{ В};$$

Постоянная времени контура тока возбуждения:

$$T_{\text{ртв}} = T_{\text{лов}} = 4,311 \text{ с}.$$

Конструктивный коэффициент электродвигателя:

$$K = \frac{C}{\Phi_{\text{ном}}} = \frac{27,26}{0,115} = 236 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад} \cdot \text{Вб}}.$$

Коэффициент усиления обратной связи контура ЭДС:

$$K_{\text{э}} = \frac{U_{\text{рэ макс}}}{\omega_{\text{н}} \cdot C} = \frac{10}{32,97 \cdot 27,26} = 0,011 \text{ В}.$$

Коэффициента передачи цепи обратной связи по ЭДС:

$$K_{\text{оэ}} = \frac{K_{\text{э}}}{K_{\text{дн}} \cdot K_{\text{дэ}}} = \frac{0,011}{0,0095 \cdot 1} = 1,052,$$

где

$K_{\text{дэ}} = 1$ – коэффициент передачи датчика ЭДС,

$K_{\text{дн}} = 0,0095$ - коэффициент передачи датчика напряжения.

Коэффициент усиления контура ЭДС:

$$K_{\text{рэ}} = \frac{T_{\text{рэ}} \cdot K_{\text{тв}}}{K_{\phi} \cdot C \cdot K_{\text{э}} \cdot 1,5 \cdot T_{\text{тпв}}} = \frac{0,0322 \cdot 0,18}{0,495 \cdot 27,26 \cdot 0,011 \cdot 1,5 \cdot 0,00167} = 15,6.$$

Постоянная времени контура ЭДС:

$$T_{pз} = T_{дв} = 0,0322 \text{ с},$$

где

$T_{да}$ – постоянная времени двигателя, равная:

$$T_{дв} = \frac{L_{я}}{R_{дв гор}} = \frac{0,278 \cdot 10^{-3}}{8,62 \cdot 10^{-3}} = 0,0322 \text{ с}.$$

Коэффициент пропорциональности между током возбуждения и потоком:

$$K_{\phi} = \frac{C}{I_{вн}} = \frac{27,26}{55} = 0,495 \frac{\text{Ом} \cdot \text{с}}{\text{рад}}.$$

6. НЕЛИНЕЙНАЯ САУ РЭП

6.1. Структурная схема нелинейной САУ РЭП

Структурная схема САУ РЭП приведена на рисунке 11.

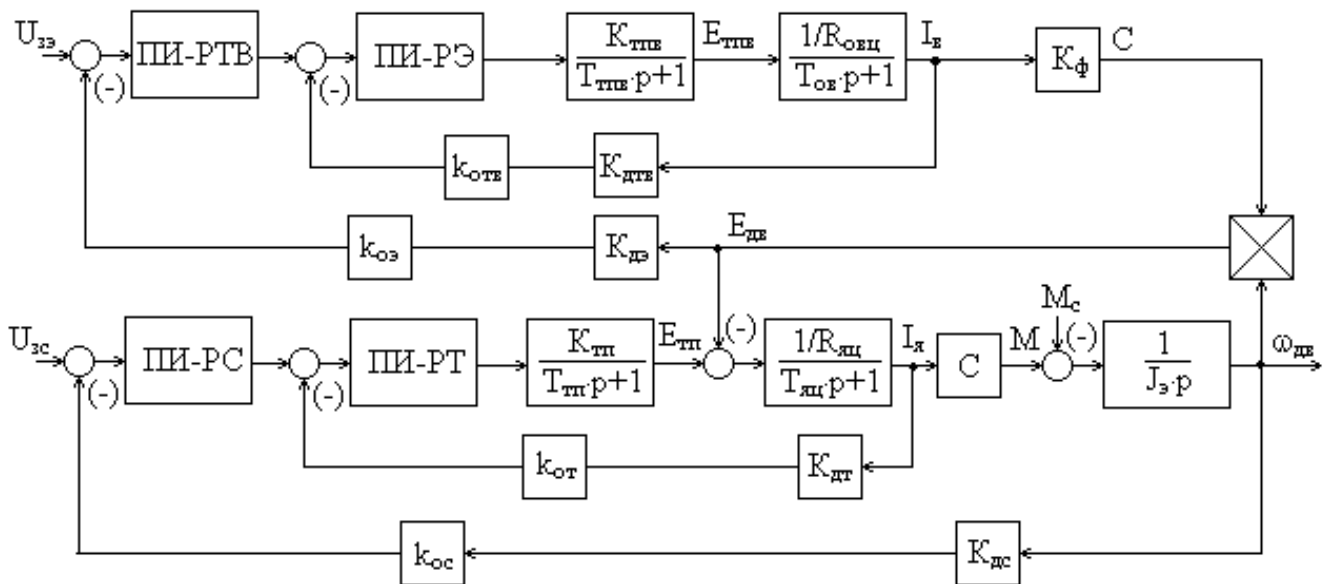


Рисунок 11 – Структурная схема САУ РЭП

Параметры структурной схемы САУ РЭП приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры структурной схемы САУ РЭП

K_{PC}	K_{PT}	K_{TP}	T_{PT}	$R_{яц}$	T_{PC}	K_T	K_C	C	J_{Σ}
246,5	0,655	231	0,018	0,0329	0,01	0,00122	0,19	27,26	5923,5

Продолжение таблицы 9

$K_{PЭ}$	K_{PTB}	$K_{ТПВ}$	$T_{ТПВ}$	$R_{ОВЦ}$	T_1	T_2	K_{Φ}	K_{TB}	K_{Σ}	K
15,6	8,44	119,1	0,00167	3,228	4,31	0,048	0,495	0,18	0,011	237

$T_{яц}$	$T_{ОВЦ}$	$K_{дт}$	$K_{дс}$	$K_{дэ}$	$K_{от}$	$K_{ос}$	$K_{оэ}$
0,0188	4,46	0,001	2,196	1	1,22	0,086	1,052

Исследование линейной САУ РЭП нецелесообразно для данной структуры двухзонного электропривода, так как во второй зоне регулирования ток возбуждения уменьшается начиная с номинального значения, а это достигается только при насыщении регуляторов.

Структурная схема электропривода представляет собой четырёхконтурную САУ подчинённого регулирования с ПИ – регулятором тока, ПИ – регулятором скорости, ПИ – регулятором тока возбуждения и ПИ – регулятором ЭДС. Первым контуром является контур регулирования ЭДС двигателя, вторым является контур регулирования тока возбуждения двигателя, третьим – контур регулирования тока якоря двигателя, четвертым – контур регулирования напряжения двигателя.

Система управления напряжением якоря двухконтурная: контур тока и контур скорости. Тиристорный преобразователь аппроксимирован инерционным звеном с некоторой фиктивной малой постоянной времени T_{μ} . Данная структура является двукратно-интегрирующей системой и обеспечивает очень высокие динамические характеристики РЭП, которые определяются значением постоянной времени T_{μ} .

На вход регулятора скорости подаётся разность сигналов, пропорциональных заданному и действительному значениям скорости, на вход регулятора тока якоря РТ – разность сигналов пропорциональных заданному и действительному значениям тока якоря двигателя, а на вход регулятора тока возбуждения РТВ – разность сигналов, пропорциональных заданному и действительному значениям тока возбуждения двигателя. Сигнал задания скорости снимается с выхода задатчика интенсивности ЗИ, сигнал задания тока якоря двигателя – с выхода регулятора скорости, а сигнал задания тока возбуждения двигателя – с выхода регулятора ЭДС.

Система управления возбуждением двигателя двухконтурная: контур тока возбуждения и контур ЭДС двигателя.

В системе управления возбуждением применен ПИ – регулятор тока возбуждения и ПИ – регулятор ЭДС, на вход которого подаётся сигнал пропорциональный напряжению и току якоря.

Учитываются следующие основные нелинейности характеристик элементов САУ:

- насыщение регулятора скорости $U_{рс макс} \leq (10 \div 12) В$. Принимаем $U_{рс макс} = 10 В$;
- насыщение регулятора тока $U_{рт макс} \leq (10 \div 12) В$. Принимаем $U_{рс макс} = 10 В$;
- насыщение регулятора ЭДС. Принимаем $U_{рэ макс} = 10 В$;
- насыщение регулятора тока возбуждения. Принимаем $U_{рТВ макс} = 10 В$;
- характеристику устройства постоянного токоограничения, реализованного путем ограничения выходного напряжения регулятора скорости $U_{рс} \leq U_{рс доп}$, где $U_{рс доп} = 10 В$;
- реактивный характер нагрузки $M_c(\omega) = M_c \cdot \text{sign } \omega$,

где

$$M_C = M_{CДВ} + M_{СНАГР} = 3140,2 + (15000 \div 95541) = 18140,2 \div 98681,2 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{CДВ} = M_{ЭН} - M_{ДВН} = 98681,2 - 95541 = 3140,2 \text{ Н}\cdot\text{м} - \text{момент трения на валу},$$

$$M_{ЭН} = I_{ДВН} \cdot C = 3620 \cdot 27,26 = 98681,2 \text{ Н}\cdot\text{м} - \text{электромагнитный момент},$$

соответствующий номинальному току, Н·м

$$M_{СНАГР} = (0,15 \div 1) \cdot M_{ДВН} = (15000 \div 95541) \text{ Н}\cdot\text{м} - \text{полный момент нагрузки};$$

- нелинейный характер регулировочной характеристики нереверсивного тиристорного преобразователя с линейным опорным напряжением.

Выражение для регулировочной характеристики

$$e_{\text{тп}} = E_{d01} \cdot \text{sink}_{\alpha/u} \cdot U_y,$$

где

U_y - напряжение управления;

$k_{\alpha/u}$ - коэффициент преобразования напряжения управления в значении угла управления, рад/В.

Максимальное значение коэффициента усиления для преобразователя с такой характеристикой имеет место при $U_y = 0$ и равно:

$$\frac{de_{\text{тп}}}{dU_{y\text{уп}}} = E_{d01} \cdot k_{\alpha/u}.$$

$$k_{\alpha/U} = \frac{k_{\text{тп}}}{E_{d01}} = \frac{231}{1204} = 0,192 \frac{\text{рад}}{\text{В}}.$$

Тогда из условия $E_{d01} \cdot \text{sink}_{\alpha/u} \cdot U_{y\text{макс}} = E_{\text{тп макс}}$ можно определить:

$$U_{y\text{макс}} = \frac{1}{k_{\alpha/U}} \cdot \arcsin \frac{E_{\text{тп макс}}}{E_{d01}} = \frac{1}{0,192} \cdot \arcsin \frac{1185,7}{1204} = 5,13 \text{ В} - \text{максимальное}$$

значение напряжения управления на входе преобразователя,

где

$$E_{\text{тп макс}} = E_{d01} \cdot \cos(\alpha_{\text{мин}}) = 1204 \cdot \cos 10^\circ = 1185,7 \text{ В};$$

- нелинейный характер регулировочной характеристики неперереверсивного тиристорного преобразователя цепи возбуждения с линейным опорным напряжением. Выражение для регулировочной характеристики

$$e_{\text{тп}} = E_{\text{d02}} \cdot \sin k_{\alpha/U} \cdot U_y,$$

где

E_{d02} – ЭДС холостого хода тиристорного преобразователя цепи возбуждения:

$$E_{\text{d02}} = \frac{U_{2\text{фн}}}{K_{U2}} = \frac{265,58}{0,428} = 620,51 \text{ В},$$

Коэффициент преобразования напряжения управления в значении угла управления:

$$k_{\alpha/U} = \frac{k_{\text{тпв}}}{E_{\text{d02}}} = \frac{119,1}{620,51} = 0,192 \frac{\text{рад}}{\text{В}},$$

$$E_{\text{тп макс}} = E_{\text{d02}} \cdot \cos(\alpha_{\text{мин}}) = 620,51 \cdot \cos 10^\circ = 611,08 \text{ В},$$

Максимальное значение напряжения управления на входе преобразователя:

$$U_{y \text{ макс}} = \frac{1}{k_{\alpha/U}} \cdot \arcsin \frac{E_{\text{тп макс}}}{E_{\text{d02}}} = \frac{1}{0,192} \cdot \arcsin \frac{611,08}{620,51} = 5,13 \text{ В}.$$

Переходные процессы рассчитываются и строятся при помощи программы WINDORA.

Переходные процессы в реальных РЭП обычно близко совпадают с процессами в линеаризованных системах только при малых сигналах управления. Имеющиеся в этом случае различия определяются наличием пульсаций координат электропривода, обусловленных пульсациями выпрямленного напряжения преобразователя. При средних и больших управлениях переходные процессы в реальных системах могут иметь значительные количественные отличия от полученных в идеализированных системах, что обусловлено наличием насыщения регуляторов, дискретностью тиристорного преобразователя и ограничений координат в реальном электроприводе.

6.2. Исследование на имитационной модели нелинейной САУ РЭП

Обработка больших сигналов управления

На вход модели электропривода подаем скачок управляющего воздействия $U_{зс} = 10$ В при нагрузке $M_c = 0,15 \cdot M_H$ и $M_c = M_H$. Снимаем кривые переходных процессов для координат электропривода $i_a(t)$, $i_b(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$.

Кривые переходных процессов представлены на рисунках 12 и 13.

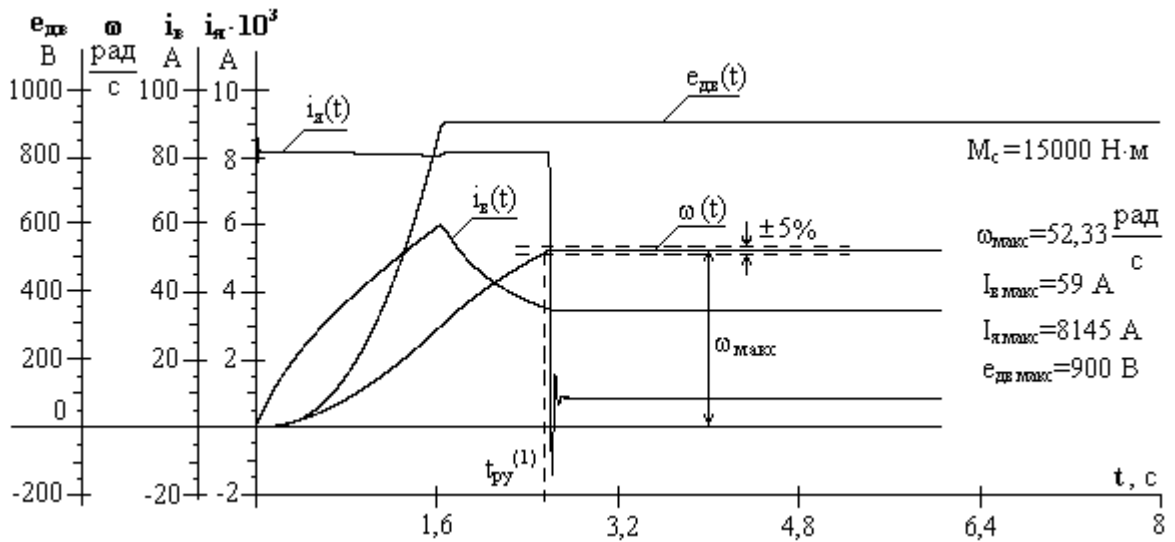


Рисунок 12 – Кривые переходных процессов $i_a(t)$, $i_b(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$ в нелинейном РЭП при обработке скачка управляющего воздействия $U_{зс} = 10$ В и $M_c = 15000$ Н·м, $\sigma = 0,35\%$, $t_{пу}^{(1)} = 2,5$ с, $t_{пу}^{(2)} = 2,5$ с

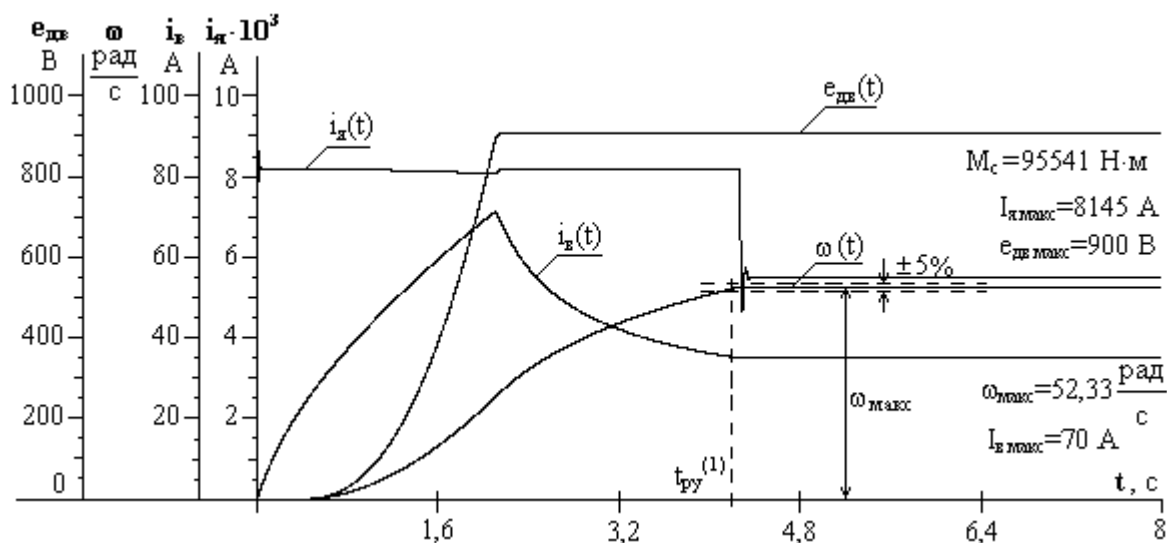


Рисунок 13 – Кривые переходных процессов $i_a(t)$, $i_b(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$ в нелинейном РЭП при отработке скачка управляющего воздействия $U_{зс}=10$ В и $M_c=95541$ Н·м, $\sigma=0,35\%$, $t_{рy}^{(1)}=4,1$ с, $t_{рy}^{(2)}=4,1$ с

Отработка средних сигналов управления

На вход модели электропривода подаем скачок управляющего воздействия $U_{зс} = 6,3$ В и $U_{зс} = 5$ В при нагрузке $M_c = 0,15 \cdot M_H$ и $M_c = M_H$. Снимаем кривые переходных процессов для координат электропривода $i_a(t)$, $i_b(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$.

Кривые переходных процессов представлены на рисунках 14 – 17.

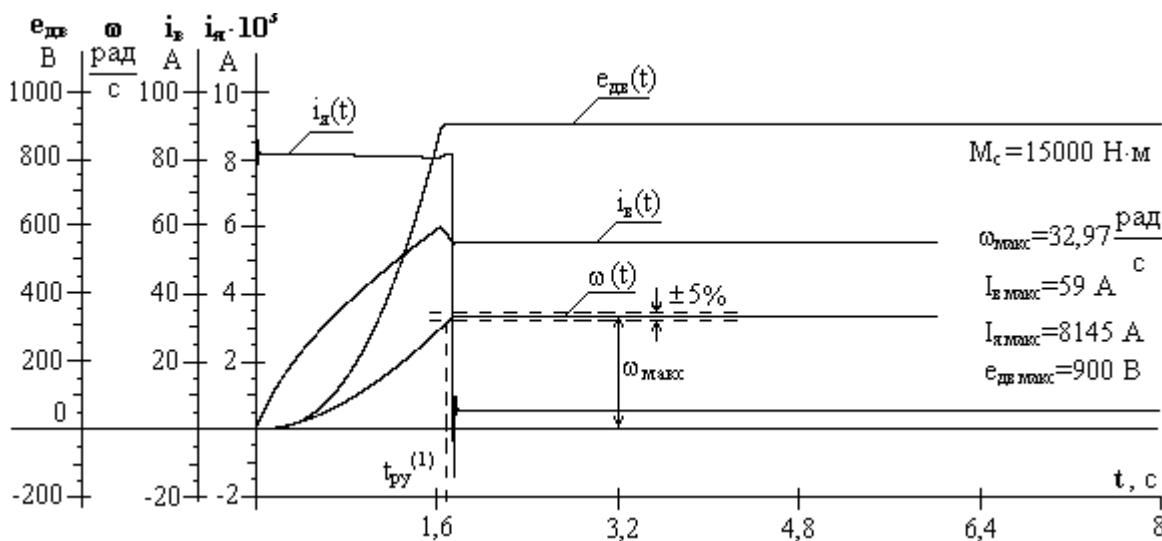


Рисунок 14 – Кривые переходных процессов $i_a(t)$, $i_b(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$ в

нелинейном РЭП при отработке скачка управляющего воздействия

$U_{zc}=6,3$ В и $M_c=15000$ Н·м, $\sigma=0,35\%$, $t_{py}^{(1)}=1,8$ с, $t_{py}^{(2)}=1,8$ с

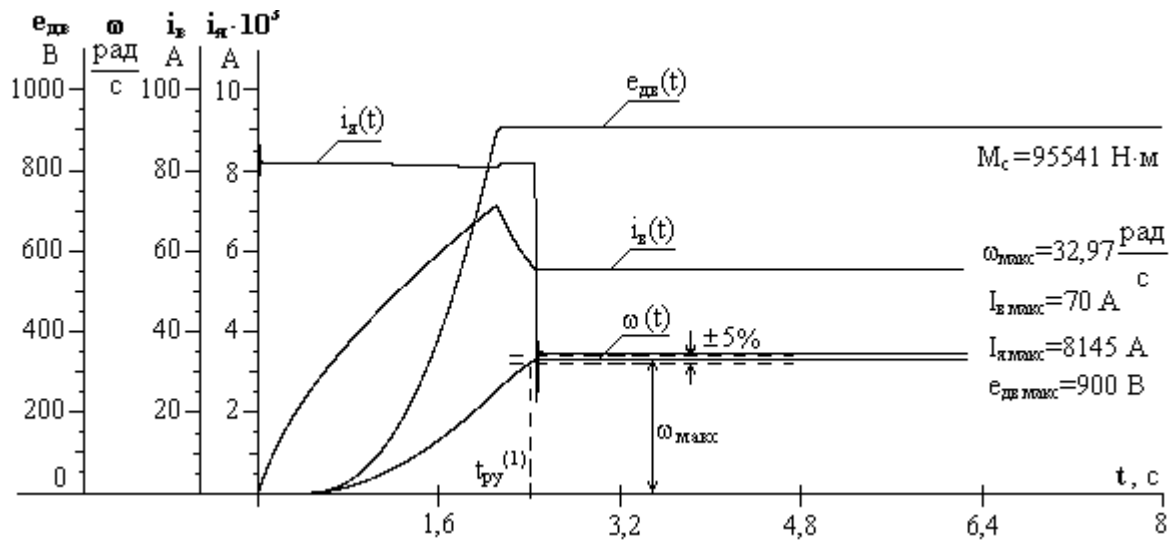


Рисунок 15 – Кривые переходных процессов $i_a(t)$, $i_b(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$ в нелинейном РЭП при отработке скачка управляющего воздействия

$U_{zc}=6,3$ В и $M_c=95541$ Н·м, $\sigma=0,35\%$, $t_{py}^{(1)}=2,4$ с, $t_{py}^{(2)}=2,4$ с

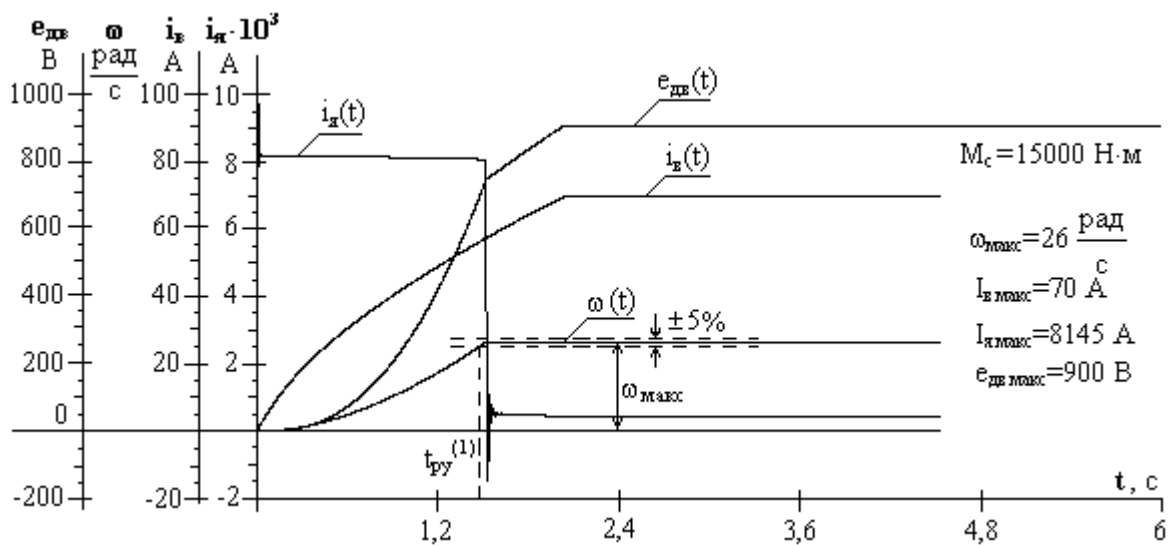


Рисунок 16 – Кривые переходных процессов $i_a(t)$, $i_b(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$ в нелинейном РЭП при отработке скачка управляющего воздействия

$U_{zc}=5$ В и $M_c=15000$ Н·м, $\sigma=0,35\%$, $t_{py}^{(1)}=1,5$ с, $t_{py}^{(2)}=1,5$ с

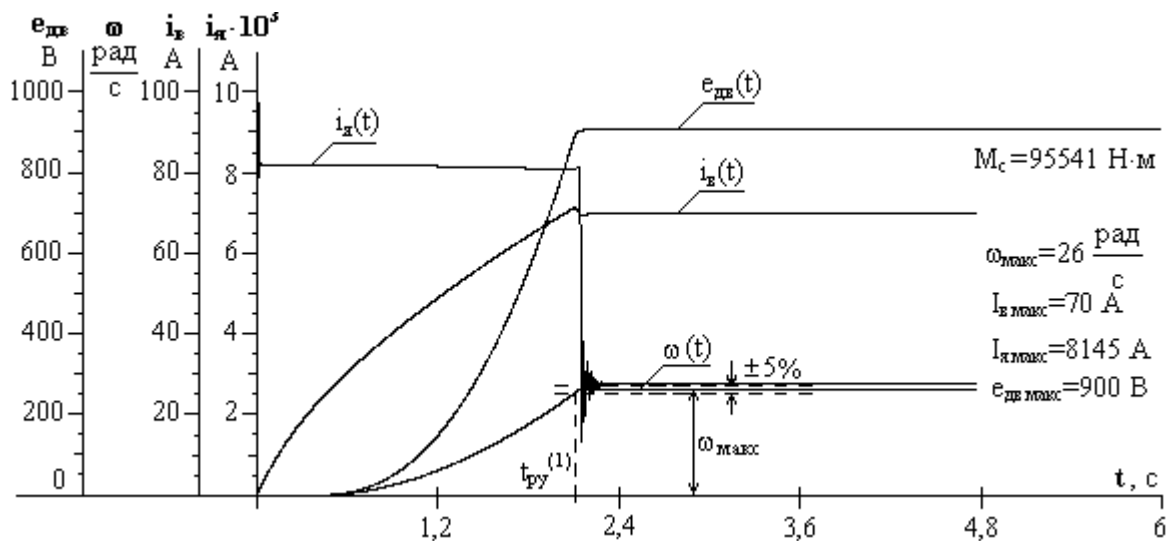


Рисунок 17 – Кривые переходных процессов $i_a(t)$, $i_b(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$ в нелинейном РЭП при отработке скачка управляющего воздействия $U_{зс}=5$ В и $M_c=95541$ Н·м, $\sigma=0,35\%$, $t_{пу}^{(1)}=2,1$ с, $t_{пу}^{(2)}=2,1$ с

Отработка малых сигналов управления

На вход модели электропривода подаем скачок управляющего воздействия $U_{зс} = 1$ В при нагрузке $M_c = 0,15 \cdot M_H$ и $M_c = M_H$. Снимаем кривые переходных процессов для координат электропривода $i_a(t)$, $i_b(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$.

Кривые переходных процессов представлены на рисунках 18 и 19.

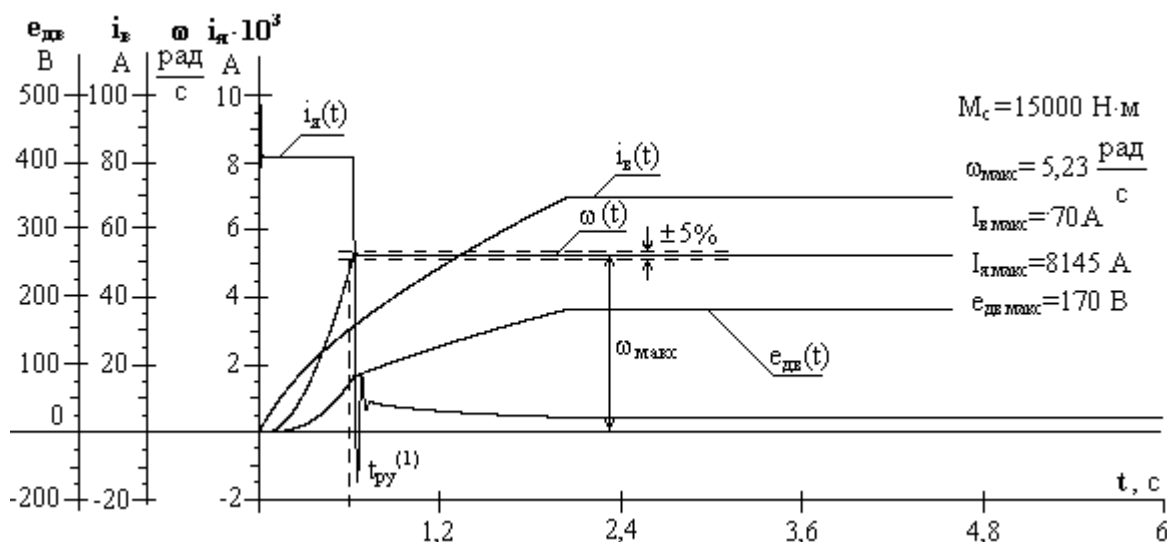


Рисунок 18 – Кривые переходных процессов $i_a(t)$, $i_b(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$ в

нелинейном РЭП при отработке скачка управляющего воздействия

$U_{зс}=1$ В и $M_c=15000$ Н·м, $\sigma=0,35\%$, $t_{пу}^{(1)}=0,6$ с, $t_{пу}^{(2)}=0,6$ с

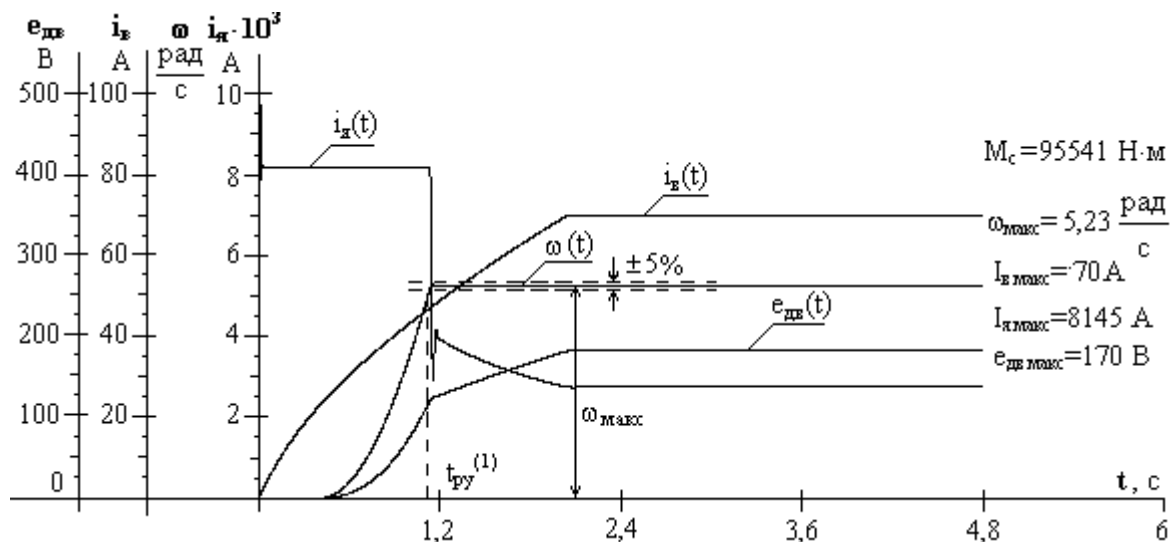


Рисунок 19 – Кривые переходных процессов $i_я(t)$, $i_в(t)$, $\omega(t)$, $e_{дв}(t)$ в нелинейном РЭП при отработке скачка управляющего воздействия

$U_{зс}=1$ В и $M_c=95541$ Н·м, $\sigma=0,35\%$, $t_{пу}^{(1)}=1,15$ с, $t_{пу}^{(2)}=1,15$ с

Из графиков переходных процессов видно, что при больших сигналах управления $U_{зс} = 10$ В скорость электропривода достигает максимального значения $\omega_{макс} = 52,33 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, то есть происходит регулирование во второй зоне. При средних сигналах управления $U_{зс} = 6,3$ В скорость электропривода достигает номинального значения $\omega_{ном} = 32,97 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, происходит регулирование в первой зоне. При малых сигналах управления $U_{зс} = 1$ В скорость электропривода достигает значения $\omega = 5,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, то есть может применяться при заправке стальной заготовки в валки. С увеличением нагрузки переходный процесс приобретает затяжной характер.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данном разделе рассматривается комплекс работ, которые необходимо провести, чтобы ввести в эксплуатацию электропривод прокатной клетки непрерывно-заготовочного стана 850.

Опыт внедрения системы проведения пусконаладочных работ электрооборудования на ОАО «Оскольский Электрометаллургический комбинат» показал высокую эффективность. Впервые система пусконаладочных работ была внедрена на предприятии более 30 лет назад. За прошедшее время система проведения работ была отлажена, уменьшилась её трудоёмкость, что не повлияло на показатели качества. В связи с развитием техники пусконаладочные работы проводятся на всех без исключения предприятиях, где осуществляется реконструкция или модернизация действующего электрооборудования. Стоимость электрооборудования и его монтаж составляет большой удельный вес в общей стоимости развития предприятия.

Финансирование пусконаладочных работ осуществляется из ремонтного фонда предприятия, либо цеха (в зависимости от масштабов и стоимости). Средства выделяются на основе рассчитываемой калькуляции проведения пусконаладочных работ.

7.1. Структура пусконаладочных работ

Пусконаладочные работы являются важным звеном подготовки оборудования к эксплуатации. Состав пусконаладочных работ определяют исходя из комплекта электропривода прокатной клетки.

Электропривод имеет следующий состав:

- двигатель постоянного тока серии П2-2133-3,15;
- трансформатор силовой серии ТМПД5000/10У3;
- комплектный тиристорный электропривод.

Целью пусконаладочных работ является доведение электропривода механизма прокатной клетки до требований предъявляемых технологическим процессом.

Комплекс работ разобьём на этапы и определим в процентном соотношении время выполнения работы по каждому этапу. Результаты сведём в таблицу.

Таблица 10–Этапы пусконаладочных работ

Этапы пусконаладочных работ	Время выполнения, %
Организация работы	10
Подготовительные работы	20
Наладочные работы	50
Проверочные работы	5
Комплексное опробование	10
Оформление отчётной и приёмно-сдаточной документации	5
Итого	100

Весь комплекс работ разобьём на 6 этапов. За его осуществление возьмётся бригада из 4 человек в следующем составе:

- Инженер первой категории
- Электромонтёр шестого разряда
- Электромонтёр пятого разряда
- Электромонтёр шестого разряда

Расчет заработной платы участка автоматике:

При расчете заработной платы принимается повременная оплата труда. Заработная плата согласно тарифной сетки с учетом районного коэффициента $K_p = 1,3$ приведена в таблице 2.

Таблица 11 – Заработная плата участка автоматики.

Работник	Тарифная ставка, руб	Количество отработанных часов	Заработная плата, руб	С учетом K_p , руб
Инженер	90	72	6480	8424
Электромонтер 5 разряда	56	72	4032	5241
Электромонтер 6 разряда (2 чел.)	68	72	9792	12729
Итого				26395

При расчете стоимости ПНР не применяются повышающие коэффициенты:

- так как надбавка к ценам ПНР районного коэффициента 1;
- выполнение ПНР в электротехнических установках, находящихся под напряжением 1,3.

Стоимость ПНР электропривода:

$$C_{\text{э}} = 17762 \cdot 1 \cdot 1,3 = 23090,6 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработанная плата рабочих:

$$Z_{\text{доп}} = 23090,6 \cdot 0,1 = 2309,06 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные цели:

$$C_{\text{отч}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot 0,3 = (23090,6 + 2309,06) \cdot 0,3 = 11821 \text{ руб.}$$

Накладные расходы (тепло-водоснабжение, электроэнергия) по пуско-наладочным работам составляют:

$$N_p = 0,4 \cdot C_{\text{э}} = 0,4 \cdot 23090,6 = 12007,12 \text{ руб.}$$

В таблицу 3 сведён полный комплекс пусконаладочных работ, а также время выполнения каждого этапа.

Таблица 12 – Полный комплекс пусконаладочных работ

Наименование работ	Исполнение	Время исполнения, ч
1	2	3
Организация работы :		
• Изучение технической документации, составление и разработка рекомендаций по их устранению	1,2,3	24
• Составление рабочего графика пусконаладочных работ	1,2	16
Итого		40
Подготовительные работы:		
• Подготовка аппаратуры и инструмента	1,2,3,4	16
• Внешний осмотр оборудования и проверка его соответствия проекту	1,2	24
• Составление рабочей программы и наладки с учётом особенностей объекта	1,2	40
Итого по		80
Наладочные работы:		
• Наладка неререверсивного тиристорного преобразователя электропривода постоянного тока	1,2,3,4	50
• Наладка системы регулирования электроприводом	1,2,3,4	100
• Наладка аппаратов управления	1,2,3,4	25
• Наладка схемы с элементами автоматики электропривода	1,2,3,4	25
Итого		200
Проверочные работы:		
• Проверка правильности монтажа электрических цепей	1,2,3,4	20
Итого		20
Комплексное опробование:		
• Испытание преобразователя на искусственную нагрузку при ручном управлении	1,2,3,4	10
• Испытание электропривода на холостом ходу, опробование и корректировка работы привода при рабочей нагрузке и ручном управлении	1,2,3,4	10
• Проверка режимов работы ЭП при управлении с пульта управления	1,2,3,4	10
Итого		40
Оформление отчётной и приемосдаточной документации:		
• Составление протоколов пусконаладочных работ	1	8
• Внешние изменения в принципиальной схеме	1	12
Итого		20
Всего		400

Таким образом, пусконаладочные работы проводятся бригадой из четырех человек до 50 дней. График выполнения работ согласно данным таблицы представлен на рисунке 1.

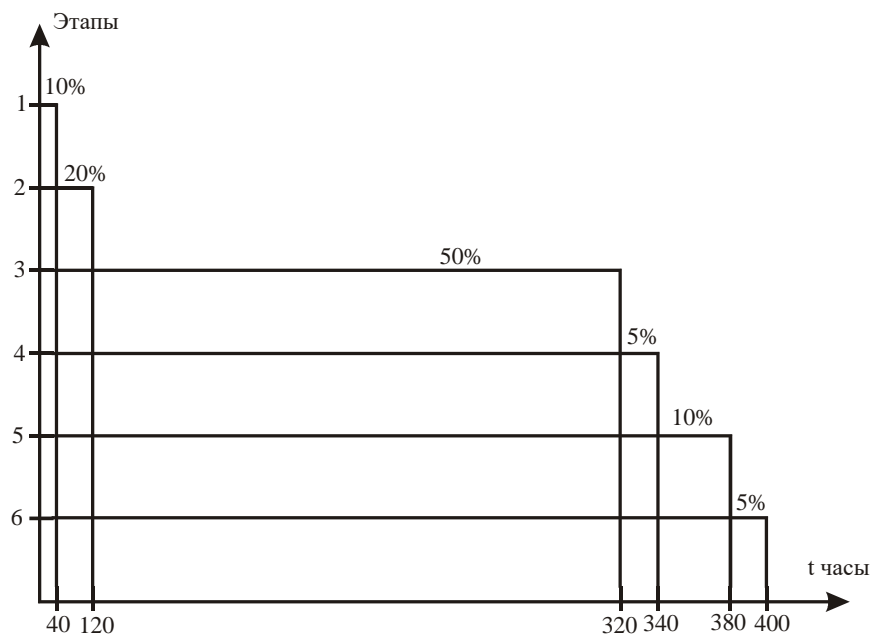


Рисунок 20 – График выполнения пусконаладочных работ.

7.2. Определение стоимости пуско-наладочных работ

Все работы производятся в строгом соответствии с нормами их проведения. В таблице 3 представлены затраты на проведение пуско-наладочных работ.

Таблица 13 – Затраты на проведение пуско-наладочных работ

Наименование работ, оборудования	Единицы измерения	Кол-во	Стоимость работ, руб		Стоимость работ (новый ЭП), руб	
			За единицу	Всего	За единицу	Всего
1	2	3	4		5	
1. Наладка нереверсивного тиристорного преобразователя	штук	1	4264	4264	4300	4300
2. Наладка системы регулирования электроприводом	штук	1	11331	11331	11450	11450
3. Монтаж двигателя постоянного тока	штук	1	248	248	280	280
4. Установка и отладка тахогенератора	штук	1	190	190	210	210
5. Наладка схем датчика тока						
• на измерительный прибор	штук	2	32	64	40	80
• работу в САР	штук	3	165	495	180	540
6. Установка датчика контроля охлаждения	штук	4	30	120	41	164
7. Наладка тиристорного преобразователя	штук	1	1050	1050	1100	1100
Всего				17762		18124

В таблице 4 приведена стоимость материалов, необходимых для проведения пуско-наладочных работ.

Смета затрат составляется на основе нормативных актов перед проведением ПНР и определяет сумму, необходимую для их проведения. Смета затрат представлена в таблице 5.

Таблица 14 – Стоимость материалов

Наименование материала	Единицы измерения	Кол-во	Стоимость, руб.	
			За единицу	Всего
1.Провод монтажный РКТМ-1	м	200	13	2600
2. Текстолит ТЗ-5	кг	20	10	200
3. Уголок алюминиевый	кг	10	20	200
4. Уголок стальной	кг	10	15	150
5. Наконечники кабельные	шт	50	3	150
Итого				3300

Таблица 15 – Смета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	Сумма, руб.	%
Затраты на материалы	3300	3500	2
Основная заработная плата	23090	23561	52
Дополнительная заработная плата	2309	2356	5
Страховые взносы во внебюджетные фонды	3300	3500	2
Накладные расходы	12007	12251	21
Итого стоимость ПНР	56847	61506	100

В данном разделе были рассмотрены мероприятия (пуско-наладочные работы) необходимые для введения в эксплуатацию электропривода прокатной клетки. Весь комплекс работ разбит на отдельные этапы и определено время выполнения каждого этапа ПНР. Согласно полученным данным был построен график выполнения каждого этапа пуско-наладочных работ, а также определена их стоимость.

8. Безопасность и экологичность проекта

В данном проекте рассматривается электропривод прокатной клетки непрерывно-заготовочного стана 850.

Прокатная клетка является основным устройством непрерывно-заготовочного стана, так как в ней осуществляется прокатка металла.

Заготовка на клетку подаётся с рольганга. После вхождения заготовки в клетку осуществляется прокатка между двумя валками прокатной клетки, с последующей выдачей раската на рольганг. Привод осуществляется от одного электродвигателя, установленного в становой пролёте, через двухскоростной комбинированный редуктор и зубчатые шпиндели.

Электропривод работает на постоянном выпрямленном токе до 8145 А и номинальном выпрямленном напряжении 930 В.

Работы, выполняемые при установке и последующей эксплуатации электропривода прокатной клетки условно можно разделить на следующие группы:

- монтаж электропривода;
- настройка электропривода;
- работы по техническому обслуживанию электропривода;
- работы по устранению аварий электропривода.

Кроме того, проводятся планово-предварительные ремонты электропривода, выполняемые одновременно в срок ремонта типового технического оборудования по составляемым планам графикам.

8.1. Анализ опасных и вредных факторов при выполнении работ

Работа на промышленном предприятии постоянно связана с наличием некоторых опасных и вредных факторов.

К опасной группе факторов при производстве пуско-наладочных работ электропривода относятся:

- поражение электрическим током;
- получение ожогов;
- получение механической травмы.

Причины поражения электрическим током:

- 1) случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- 2) появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования (корпусах, кожухах и тому подобное) в результате повреждения изоляции и других причин;
- 3) появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки;
- 4) возникновение шагового напряжения на поверхности земли в результате замыкания провода на землю.

Основными вредными факторами являются:

- запылённость (окалина);
- шум и вибрация от производственных механизмов;
- отклонение параметров микроклимата;
- недостаточная освещенность.

Проходя через организм человека электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие.

Как показали исследования, пыль прокатных станов состоит в основном из оксидов железа Fe_2O_3 с примесью других веществ: оксида кремния Si_2O_3 , марганца Mn_2O_7 и других элементов. Размер части пыли в прокатном цехе колеблется в широких пределах: крупные фракции 5-10 мкм быстро оседают, а мелкие частицы размером от 10 до 0.1 мкм и меньше длительное время находятся в воздухе, что вредно для организма человека.

Наиболее высокое содержание пыли в становой пролёте и на складе готовой продукции. При отсутствии вентиляции концентрация пыли в воздухе непрерывно-заготовочного стана непосредственно у рабочих клеток составляет

187-2420 мгм/м³. На складе готовой продукции концентрация пыли составляет 20-40 мгм/м³. Общий выброс пыли от всех источников пылеобразования составляет около 200 г/т товарного проката. Предельно допустимая концентрация вредных веществ рекомендуется [10]. Фактическая запылённость составляет 15.9 – 20 мг/м³, ПДК составляет 10 мг/м³.

В прокатном цехе работают электропривода большой мощности, которые работают при напряжении 220-6000 В и токе до 10000 А. Поэтому они являются источниками повышенной опасности при отсутствии заземления, которое регламентировано [3], повреждении изоляции силовых кабелей.

8.2. Техника безопасности

Так как в помещении цеха где расположен данных электропривод возможны одновременные прикосновения человека к имеющим соединению с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой, это помещение относится к категории с повышенной электробезопасности.

Техника безопасности при ремонте и обслуживании электрооборудования прокатного цеха соответствует [3,4] и предусматривает:

Категория помещения по электробезопасности с повышенной опасностью

- назначение лиц, ответственных за безопасность работ; такими лицами являются производитель работ, начальники участков, мастера и бригадиры монтажных бригад;
- включение в проект производства работ решений по созданию условий для безопасного производства;
- внедрение передового опыта работы по предупреждению производственного травматизма;
- организацию кабинетов по технике безопасности.

При работах, связанных с опасностью поражения электрическим током, применяются необходимые меры защиты. Важную роль в обеспечении безопасности для электротехнического персонала играют электротехнические средства защиты и предохранительные приспособления.

Электротехнические средства защиты подразделяются на основные и дополнительные.

К основным средствам защиты относятся:

- изолирующие клещи (для операций с предохранителями);
- электроизмерительные приборы;
- монтажный инструмент с изолированными ручками;
- диэлектрические перчатки;
- изолирующие штанги (оперативные, измерительные для нанесения заземления).

Все измерительные и индивидуальные средства защиты после истечения установленного на них срока службы сдаются на проверку. При выходе из строя заменяются.

К дополнительным средствам защиты до 1000 В относятся:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические коврики;
- изолирующая подставка;
- изолирующие колпаки, покрытия и накладки;
- штанги для выравнивания и переноса потенциала;
- изолирующие стеклопластиковые (диэлектрические) стремянки и приставные лестницы;

Выше 1000 В:

- диэлектрические перчатки
- диэлектрические боты
- диэлектрический коврик

- изолирующая подставка
- изолирующие колпаки и накладки
- штанги для выравнивания и переноса потенциала
- изолирующие стеклопластиковые (диэлектрические) стремянки и приставные лестницы.

Для избежания получения ожога на рабочем месте, например от работающего паяльника, должны соблюдаться:

- порядок на рабочем месте;
- удобная для работы поза;
- внимательность работающего персонала.

Для избежания механических травм применяются определённые средства защиты, для электроперсонала это такие, как:

- каска;
- спецодежда;
- спецобувь;
- рукавицы;
- защитные очки.

Важной мерой, обеспечивающей электробезопасность обслуживающего персонала, является защитное заземление металлических, нетоковедущих частей электрооборудования привода, которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции электродвигателя, аппаратов управления, сетей.

В нашем случае заземление выносное. Заземлённые проводники присоединяются одним концом к корпусу электрооборудования, которое может оказаться под напряжением, другим к заземляющей магистрали. Защитное действие выносного заземления обусловлено только малой величиной его сопротивления. Согласно [4] сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

В качестве заземлителей используются трубы диаметром 4.5 см и длиной 2.7 м, полосовая сталь сечением 48 на 4 мм. Заземлители расположены в ряд и соединены стальной полосой.

Трубчатые заземления устанавливаются в землю на глубину равную 0.81 м. Величину расстояния между заземлителями примем равной трём длинам.

$$a = 3 \cdot L_{\text{э}} = 3 \cdot 2.7 = 8.1 \text{ м}$$

Верхние концы заземлителей соединены с помощью полосовой стали.

Схема устройства защитного заземления приведена на рисунке 1:

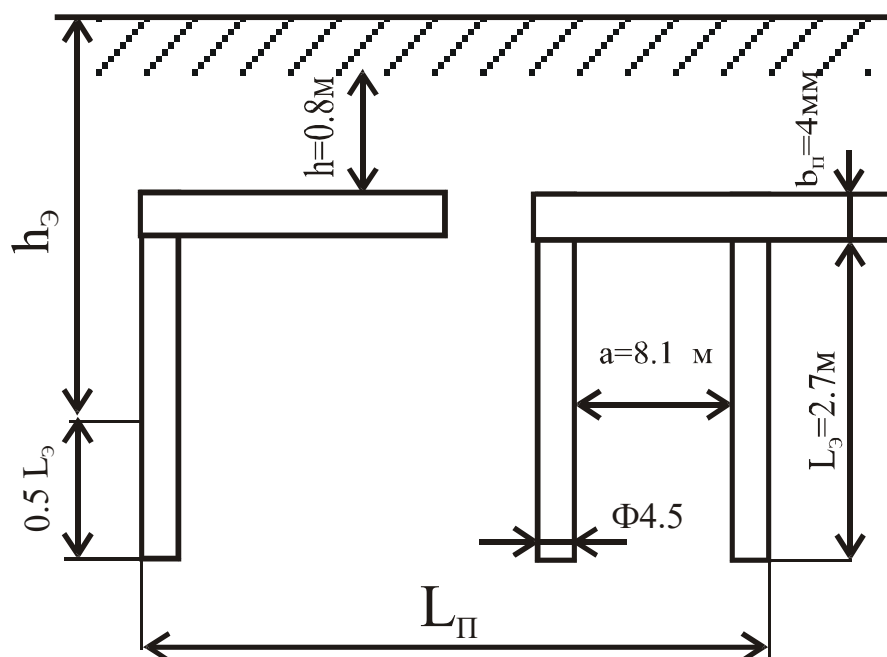


Рисунок 21 - Схема устройства защитного заземления.

Расчет устройства защитного заземления будем производить по методике, изложенной в [5], при этом будем учитывать некоторые факторы, такие как:

- климатическая зона – центральный район;
- вид грунта – суглинок;
- расположение электродов – в ряд.

Удельное электрическое сопротивление грунта в зоне размещения заземлителей определяется по формуле:

$$\rho = \rho_m \cdot K_c = 100 \cdot 1.3 = 130 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

где

$\rho_m = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – табличное значение удельного сопротивления грунта [6];

K_C – коэффициент сезонности [6].

Сопротивление электрода:

$$\begin{aligned} R_{\text{э}} &= \frac{0.366 \cdot \rho}{L_{\text{э}}} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot L_{\text{э}}}{d_{\text{э}}} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot h_{\text{э}} + L_{\text{э}}}{4 \cdot h_{\text{э}} - L_{\text{э}}} \right) = \\ &= \frac{0.366 \cdot 130}{2.7} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 2.7}{0.045} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 2.15 + 2.7}{4 \cdot 2.15 - 2.7} \right) = 95.5 \text{ Ом} \end{aligned}$$

где

$L_{\text{э}} = 2.7 \text{ м}$ – длина электрода;

$d_{\text{э}} = 0.045 \text{ м}$ – диаметр электрода;

$h_{\text{э}}$ – высота электрода.

$$h_{\text{э}} = h + 0.5 \cdot L_{\text{э}} = 0.8 + 0.5 \cdot 2.7 = 2.15 \text{ м}$$

Количество необходимых электродов предварительно:

$$n' = \frac{R_{\text{э}}}{R_3} = \frac{95.5}{4} = 24$$

Принимаем коэффициент использования электродов $\eta_{\text{э}} = 0.77$.

Потребное количество электродов будет равно:

$$n = \frac{R_{\text{э}}}{\eta_{\text{э}} \cdot R_3} = \frac{95.5}{0.77 \cdot 4} = 31 \text{ шт.}$$

Длину соединительной полосы по формуле:

$$L_{\text{п}} = a \cdot n = 8.1 \cdot 31 = 251.1 \text{ м.}$$

Сопротивление соединительной полосы:

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho \cdot K_{\Gamma} \cdot 0.366}{L_{\text{п}}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{\text{п}}^2}{h_{\text{п}} \cdot b_{\text{п}}} = \frac{130 \cdot 4 \cdot 0.366}{251.1} \cdot \lg \frac{2 \cdot 251.1^2}{0.048 \cdot 0.004} = 15.4 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление защитного заземления:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_{\text{э}} \cdot R_{\text{п}}}{R_{\text{э}} \cdot \eta_{\text{п}} + R_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot n} = \frac{95.5 \cdot 15.4}{95.5 \cdot 0.65 + 15.4 \cdot 0.77 \cdot 31} = 3.4 \text{ Ом}$$

где

$\eta_{\text{п}} = 0.65$ – коэффициент использования полосы.

По результатам расчёта произведём проверку:

$$R_{\Sigma} < R_3 = 3.4 < 4$$

Полученный результат удовлетворяет требованиям [4] и, следовательно, защитное заземление выбрано верно.

8.3. Производственная санитария

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в помещении, устранение таких вредных факторов как пыль, газы, избыточное тепло и влага. В соответствии с [7], площадь на одного человека в помещении должна быть не менее 4.5 м² и объём не менее 15 м³. Воздухообмен должен составлять не менее 20 м³/ч. Метеорологические условия для рабочей зоны устанавливаются в соответствии с [8]. Питьевой режим в производственных помещениях организован в соответствии с [9].

Приём пищи производится только в специально отведённых для этого помещениях. На рабочих местах приём пищи запрещён.

Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных помещений цеха соответствует СНиП 2.04.05-91 [10]. Согласно [10] очистку воздуха от пыли при подаче его в производственные и административно-бытовые помещения не должна превышать 30% ПДК в воздухе рабочей зоны. В процессе производства обеспечивается непрерывная работа всех основных приточно-вентильных и вентиляционных установок.

В производственных помещениях предусмотрено рабочее и аварийное освещение в соответствии с требованиями СНиП 23-05-95 [11]. Согласно [11] аварийное освещение подразделяется на освещение безопасности и эвакуационное. Освещение безопасности должно быть согласно [11] в размере 5% от общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк на территории предприятия. Эвакуационное освещение должно обеспечивать

минимальную освещённость на полу основных проходов и на ступенях лестниц. В помещении оно должно быть равным 0.5 лк, а на открытых территориях снижаться до 0.2 лк. Источники питания аварийного освещения соответствуют требованиям, предъявляемым [3].

Нормальная освещённость рабочего места зависит от разряда зрительных работ и составляет согласно [11] для общего освещения 300 лк.

Для борьбы с вибрацией в цехе применяются виброгасящие фундаменты, а использование дистанционного управления позволяет решить проблему защиты людей от вибрации.

Основные мероприятия по борьбе с пылью в прокатном производстве:

- введение рациональных технологических процессов и усовершенствование оборудования;
- применение эффективной герметизации и аспирации для всех выделяемых источников;
- увлажнение пыли водой или паром;
- регулярная уборка пыли у рабочих мест;
- применение индивидуальных средств защиты (респираторы, очки, спецодежда).

Источниками шума и вибрации в цехе является оборудование и механизмы, размещённые в станочном пролёте и машинном зале.

- Шум оказывает раздражающее действие, ускоряет процесс утомления, ослабляет внимание и замедляет психические реакции. По этим причинам сильный шум в условиях производства может способствовать возникновению травматизма, так как на фоне этого шума не слышно сигналов транспорта, автопогрузчиков и других машин. Шум вызывает нежелательную реакцию всего организма. Патологические изменения, возникшие под влиянием шума, рассматривают как шумовую болезнь. Эти вредные последствия шума выражены тем больше, чем сильнее шум и чем продолжительнее его действие. Шум на рабочих местах не должен

превышать допустимых уровней, значения которых приведены в ГОСТ 12.1.003-76 и СНиП 11-12-77. В цеху фактический уровень звука составляет 80-100 дБ против нормативного показателя в 90 дБ.

В соответствии с ГОСТ 12.1.012-78 «Система стандартов безопасности труда. Вибрация, общие требования безопасности» установлены допустимые значения и методы оценки гигиенических характеристик вибраций, определяющих её воздействие на человека [11].

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).
- Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 16.

Таблица 16

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

8.4. Пожарная безопасность

Предприятия чёрной металлургии нередко отличаются повышенной пожарной опасностью, так как их характеризует сложность производственных установок, значительное количество легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, сжиженных горючих газов, твёрдых сгораемых материалов, большая оснащённость электроустановками, а также работа с горячим металлом.

Категория производства согласно НПБ-105-03"В". Помещения, где расположено электрооборудование, оператора и машинный зал по

пожароопасности относятся к зоне класса П-Па – помещения, в которых обращаются твёрдые горючие вещества. [3]

В электроустановках потребителей причина пожаров и взрывов могут быть электрического и неэлектрического характера.

Причинами электрического характера являются:

- искрение;
- перегрузки и большие периоды сопротивления;
- короткое замыкание;
- электрическая дуга.

Причинами неэлектрического характера являются:

- нарушение технологического режима;
- самовозгорание промышленной ветоши и других материалов, склонных к самовозгоранию;
- неосторожное обращение с огнём;
- конструктивные недостатки оборудования;
- неправильное хранение горюче-смазочных материалов.

Мероприятия по пожарной профилактики разделяются на организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутризаводского транспорта, правильное содержание зданий, территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, организацию добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности и т.д.

Мероприятия режимного характера – это запрещение курения в неустановленных местах, производства сварочных и других огневых работ в пожароопасных помещениях и т.д.

Эксплуатационными мероприятиями являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования.

К техническим мероприятиям относятся, соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электроприводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования и обеспечение пожарным инвентарём. Пожарный инвентарь включает в себя:

- сухой песок в ящиках;
- лопаты;
- огнетушители ОУ-5, ОУ-8, ОУ-80 (углекислотные) согласно ТУ-22-4720-80;
- пожарные гидранты;
- водопроводные краны.

В пожароопасных помещениях размещены установки автоматического пожаротушения, где используются воздушно-механическая пена. В цехе действуют две пеногенераторные станции ПГС-1, ПГС-2. Для автоматического обнаружения очага пожара и запуска систем пожаротушения используют тепловые извещатели. Кроме автоматического их запуска предусмотрен дистанционный и местный запуск.

На рисунке 3 приведён план эвакуации рабочего персонала с машинного зала №1 в случае пожара согласно СНиП 2.01.02-85 и СНиП 21-01-97.

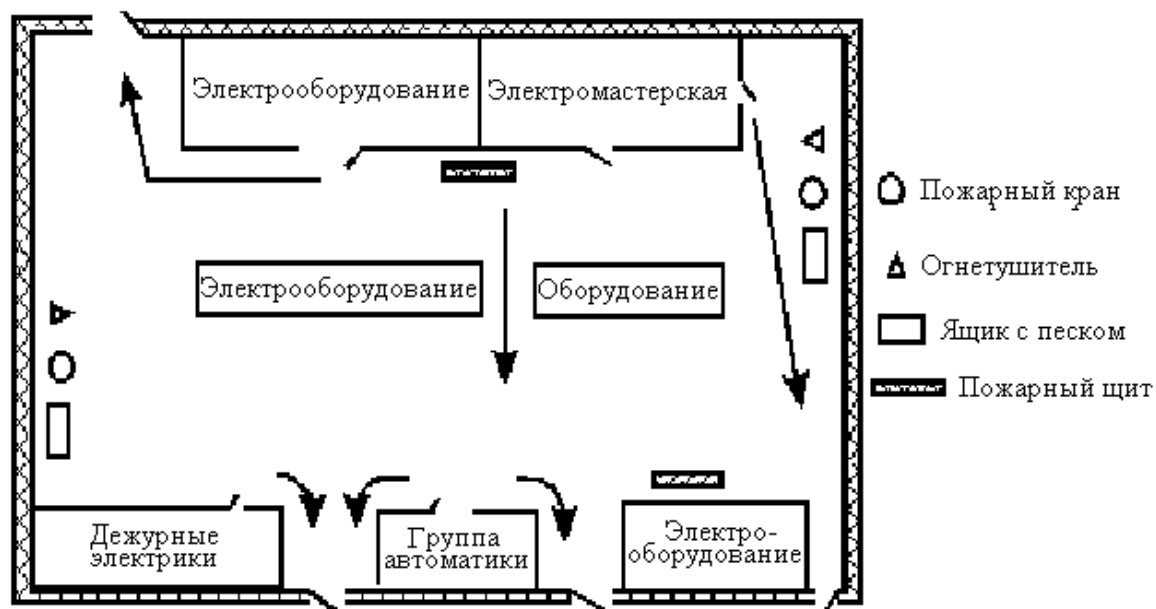


Рисунок 22 – План эвакуации рабочего персонала.

8.5. Охрана окружающей среды

Оскольский Электрометаллургический комбинат является крупнейшим предприятием чёрной металлургии в России. Поэтому для его нормального функционирования необходимо проводить мероприятия по защите воздушного и водного бассейна в городе Старый-Оскол и в целом по Центральному региону.

Процесс производства проката сопровождается образованием больших количеств отходов в виде вредных газов и пыли, сточных вод, содержащих различные химические компоненты, окалины, боя огнеупорного материала, мусора и других выбросов, которые загрязняют атмосферу и поверхность земли. Для очистки дымовых газов нагревательных печей прокатного цеха от оксидов азота применяются высокие дымовые трубы, при этом обеспечивается приземная концентрация в пределах ПДК. ПДК регламентируется по [12]. Для очистки газов машин огневой зачистки применяются электрофильтры.

Размеры вредных выбросов прокатного цеха в 2005-2006 годах приведены в таблице 1.

Таблица 17 – Распределение временно согласованных выбросов в атмосферу

Величина показателя	Пыль, т/год	Сернистый ангидрит, т/год	Оксид углерода, т/год	Оксиды азота, т/год	Итого, т/год
Норматив ПДВ	42.664	3.43	23.181	16.744	86.019
Фактическая в 2005	48.335	14.101	34.63	50.232	130.3
Фактическая в 2006	45.3	6.1	21.7	29.7	102.7

Данные таблицы 1 свидетельствуют о значительном превышении нормативной величины выбросов. Уменьшение выбросов в 2006 году произошло в основном за счёт сокращения выбросов оксидов азота и окиси углерода, что, однако, сопровождалось ростом выбросов пыли и сернистого ангидрита.

Образующиеся в прокатном производстве сточные воды составляют от 30 до 50% общего их количества по предприятию в целом. Сточные воды содержат окалину, масло, эмульсию, кислоты, токсичные вещества. Для очистки сточных

вод используются методы отстаивания, фильтрования, нейтрализации, озонирования и т.д.

Содержание загрязняющих веществ составляет на окончательном этапе 300-3000 нг/л и являются неагрессивными. Помимо очистки, сточные воды подвергаются охлаждению перед спуском в реку Оскол и перед повторным использованием в производственных нуждах. Использование воды регламентируется [9].

Для подавления пыли при прокатке наиболее эффективным способом является гидрообеспыление, при котором удаётся осадить до 70-80% пыли. Скапливающаяся таким образом окалина используется в качестве вторичного сырья для переплавки. Что составляет около 160 г/т товарного проката.

В охране окружающей среды важную роль играют службы контроля качества окружающей среды, призванные вести систематизированное наблюдение за состоянием атмосферы, воды и почв для получения фактических уровней загрязнения. Полученная информация позволяет быстро выявить причины повышения концентрации вредных веществ в окружающей среде и устранить их.

Санитарное благоустройство металлургических заводов, надлежащее их содержание являются важнейшими мероприятиями в борьбе с производственными вредностями. Они предусматривают также защиту населения от газов, пыли, копоти, шума и вредного воздействия сточных вод.

В зависимости от состава и количества выделяемых производственных вредностей и условий технологического процесса производства промышленные предприятия делятся в соответствии с санитарными нормами СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 на пять классов по видам производств. К I, II и III классам относят предприятия чёрной и цветной металлургии, занятые вторичной переработкой цветных металлов. К IV классу относят предприятия, имеющие небольшие литейные и другие горячие цехи, предприятия, производящие металлические электроды и т.д. В V класс входят предприятия без литейных, но с

термическими и другими цехами где производится обработка металлов в горячем или раскалённом состоянии.

Класс предприятия определяет защитные мероприятия, которые необходимо учитывать при его строительстве и эксплуатации.

ОЭМК относится к IV классу производств. Он имеет размеры санитарно-защитной зоны равные 500 метрам. В санитарно-защитной зоне расположены отделения охраны, баня, прачечная, административно-служебные здания, столовая. Территория санитарно-защитной зоны полностью озелена и благоустроена [13].

8.6. Предотвращение ЧС и устранение их последствий

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в механическом цехе: возникновение пожара и электропоражение.

8.7. Пожар (загорание) – как источник ЧС

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [14], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно-техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

8.8. Электропоражение как источник ЧС

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [15] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [15] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о

состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

Заключение

Целью данной работы являлось - разработка электропривода постоянного тока прокатной клетки. Разработка модели в программе DORA. Исследование переходных, динамических механических характеристик. Проверка работоспособности установленного оборудования.

Объектом исследования являлся прокатный стан с электрическим приводом П2-21/33-3,15У4.

Предметом исследования являются: математическая модель, динамические, механические характеристики электропривода прокатной клетки.

Для реализации цели работы были решены следующие задачи:

1. Разработать модель прокатной клетки;
2. Рассчитаны статические и динамические характеристики;

Методы исследования основаны на математическом описании теории электромеханического преобразования энергии. Для создания моделей использовалась программная среда DORA.

В большинстве случаев процесс разработки новой или усовершенствование уже имеющейся машины производится вручную, а проверка полученных результатов осуществляется путем испытаний на натуральных моделях, что значительно увеличивает себестоимость изделия. Новый же подход к проблеме, основанный на использовании компьютерных систем моделирования позволяет частично, а в некоторых случаях и полностью отказаться от изготовления натуральных моделей.

Список использованных источников

1. Ягопольский А.Г., Комкова Т.Ю. Особенности применения современных электроприводов в оборудовании прокатных комплексов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20309>
2. Дружинин Н.Н. Непрерывные станы как объект автоматизации. - Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Металлургия, 1975. - 336 с.: ил.
3. Лямбах Р.В., Климовидский М.Д. Проблемы автоматизации прокатного производства (аналитический обзор) // Сталь. М.: Черметавтоматика, 1999. — № 2. - С. 43-47.
4. Бычков. В.П. Электропривод и автоматизация металлургических производств. – М.: Высшая школа, 1977.
5. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. – М.: Металлургия, 1969.
6. Копылов В.П. Справочник по электрическим машинам. Том 1. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
7. Удут Л.С., Мальцева О.П., Коянин Н.В. Проектирование автоматизированных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие. – Томск, 1991.
8. Справочник по комплектным тиристорным электроприводам. Под ред. Перельмутера В.М. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
9. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами энергоиздат, 1982.
10. Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление электроприводами. – М.: Высшая школа, 1979.
11. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – Спб.: Издательство ДЕАН, 2001.
12. Экономический анализ хозяйственной деятельности: Учебник для ВУЗов, Маркарьян Э.А., Герасименко Г.П., Маркарьян С.Э., Ростов: Феникс, 2005. — 320 с
13. Видяев И.Г, Серикова Г.Н, Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. учебно- методическое пособие. — Томск: Изд-во ТПУ, 2014. — 36 с.
14. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г
15. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
16. СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»