

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод лебедки главного скипового подъема доменной печи

УДК 62-83-52:674.002.5-5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Усаров Элдор Рахматуллаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф Сергей Владимирович	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студент:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Усаров Элдор Рахматуллаевич

Тема работы:

Электропривод лебедки главного скипового подъема доменной печи

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1655/с от 09.03.2017г
---	-------------------------

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая 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; расчет статических и динамических характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; -схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф Сергей Владимирович			06.03.2017г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Усаров Элдор Рахматуллаевич		06.03.2017г

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 130 с., 26 рисунка, 18 таблиц, одно приложение, 29 используемых источника и приложение

Объектом исследования является лебёдка главного скипового подъёмника, входящая в систему верхней загрузки доменной печи.

Целью проекта является разработка электропривода главного скипового подъёмника доменной печи в соответствии с требованиями технического задания, и исследовать его работу методами численного моделирования на ЭВМ.

В ходе работы был разработан электропривод, на базе цифрового тиристорного электропривода S1MOREG K 6RA 24, обеспечивающий следующие показатели качества:

- Точность остановки скипа в заданной точке;
- точность регулирования;
- надёжность электропривода.

Содержание	
Введение.	7
1.1 Технологический процесс.	8
1.2 Конструкция механизма. Кинематическая схема.	12
1.3 Требования к электроприводу механизма.	15
1.4 Обоснование и выбор типа электропривода и способа регулирования координат	18
1.5 Разработка технического задания.	24
2.1. Выбор и проверка электродвигателя	27
2.1.1 Расчёт мощности двигателей.	27
2.1.2 Проверка двигателей по нагреву	31
2.2. Расчет и выбор элементов силовой цепи.	48
2.2.1 Выбор электродвигателя	48
2.2.2 Выбор преобразователя	50
2.2.3 Выбор силового трансформатора	52
2.2.4 Выбор токоограничивающих реакторов	55
2.2.5 Определение параметров эквивалентного преобразователя	57
2.2.6 Выбор сглаживающего дросселя	57
2.3 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода.	59
2.4 Электромеханические характеристики системы преобразователь - двигатель	62
2.5 Структурная схема линеаризованной САУ	66
2.6 Синтез системы автоматического управления электроприводом.	66
2.6.1 Контур тока	68
2.6.2 Контур скорости	69
2.6.3 Контур тока возбуждения	70
2.6.4 Контур ЭДС цепи возбуждения двигателя	73
2.7 Нелинейная САУ РЭП	77
2.7.1 Анализ основных нелинейностей электропривода	77
2.7.2 Структурная схема нелинейной САУ ЭП	78
2.7.3 Исследование электропривода на имитационных моделях	80
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА	
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	85
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	85

3.1 Оценка потенциала и перспективности реализации ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	85
3.1.1 SWOT-анализ привода перемещения индуктора вертикально закалочного станка	84
3.1.2 Определение ресурсоэффективности проекта	88
3.2 Планирование и формирование графика работ по реализации ТП	89
3.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ	91
3.3 Составление сметы технического проекта	94
3.3.1 Полная заработная плата исполнителей темы	95
3.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	96
3.3.3 Накладные расходы	97
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	100
4. Социальная ответственность	102
4.1 Анализ опасных и вредных факторов при выполнении работ	102
4.2 Техника безопасности	105
4.3 Производственная санитария.	105
4.4 Пожарная безопасность	115
4.5 Охрана окружающей среды	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	120
CONCLUSION	121
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ	122
ПРИЛОЖЕНИЕ А	124

Введение.

Скиповые лебёдки предназначены для работы в системе наклонного колошникового подъёмника. Они обеспечивают подъём скипов с шихтой и их разгрузку в приёмное устройство загрузки доменной печи. Ввиду того, что процесс выплавки чугуна относится к непрерывным типам производства и, соответственно, любой сбой в нормальном режиме оборудования приведёт к снижению качества конечной продукции, к оборудованию, обеспечивающему бесперебойность работы доменной печи, предъявляются жёсткие требования по точности и надёжности.

Высокие требования к надёжности оборудования, и, прежде всего, прогресс в развитии микропроцессорной техники привели к созданию микропроцессорных систем автоматического управления. Подобная система, управляемая микроконтроллером, спроектирована и для данного электропривода.

Основными преимуществами микропроцессорных систем управления перед электронными или электромеханическими регуляторами являются: замена системы с жёстко заданными параметрами работы системой универсальной, программируемой по конкретному алгоритму работы электропривода; уменьшение сроков проведения пуско-наладочных работ; значительное снижение количества предварительных экспериментов по определению параметров регуляторов системы управления, поскольку большинство из них могут быть проведены непосредственно самой микро-ЭВМ по заранее составленной программе.

1.1 Технологический процесс. История. Общий вид. Необходимость автоматизации.

Доменный цех является начальным этапом металлургической переработки железной руды (шихты, агломерата) в собственно металл (на данном этапе – чугун) в доменных печах. Важнейшей особенностью работы этих печей является непрерывность. Немаловажным технологическим условием их работы является также согласованность работы всех элементов, входящих в систему обеспечения бесперебойной работы печи, в том числе и системы её загрузки. Любой другой метод управления, кроме автоматического, в условиях современных объёмов производства, привёл бы к рассогласованию процесса (неточности, неодновременности в работе устройств и механизмов), что привело бы к недопустимому снижению качества продукции. Не менее важна также правильная шихтовка доменной печи, что также не обеспечивается без автоматической загрузки шихтовых материалов.

Шихта представляет собой смесь рудных материалов (руды, агломерата, флюсов) и топлива (кокса). Для равномерной непрерывной работы доменной печи необходима бесперебойная циклическая подача материала. В доменном цеху ОАО «ЗСМК» эта задача решается четырьмя гружеными скипами.

Основными элементами скиповой системы загрузки являются:

- Лебёдка скипов
- Лебёдка конусов
- Винт регулируемого шага
- Система уравнительных клапанов межконусного пространства
- Механизмы нижней системы загрузки (грохота, затворы весов агломерата и кокса, конвейера, лоток)

Как уже упоминалось, работа всех этих механизмов должна быть согласованной, элементы системы должны включаться в работу в определённое время в определённой последовательности. Нарушение требуемого алгоритма работы приводит к возникновению аварийных ситуаций. В современных

системах управления этот риск сведён к минимуму ввиду того, что они, в основном, реализовываются на программируемых микроконтроллерах, которые управляют процессом с высокой степенью точности и надёжности в соответствии с заданной программой. Высокое качество управления позволяет минимизировать время погрузочно/разгрузочных операций, что повышает производительность системы в целом.

Из истории создания отечественных систем загрузки

В 1928 г. Харьковским электромашиностроительным заводом был изготовлен комплект дистанционно управляемого оборудования для доменной печи завода имени Дзержинского.

В 1933 г. на том же ХЭМЗ была разработана схема и аппаратура автоматического управления и изготовлена автоматическая система загрузки для доменной печи Гипромеза полезным объёмом 930 м³. Система главного скипового подъёмника была реализована на двухдвигательном приводе постоянного тока с реостатным управлением и последовательно-параллельным включением двигателей. Конусы управлялись пневматическими цилиндрами. Расчётная скорость подъёма скипов составляла 1,85 м/с.

В 1935 г. была разработана вторая модель системы загрузки для доменной печи объёмом 1143 м³. Привод главного подъёмника был реализован в исполнении генератор-двигатель (Г-Д). Было использовано два двигателя типа КП4-4 190 кВт, 300В, 620 об/мин. Питание двигателей осуществлялось от преобразовательных агрегатов, состоящих из генератора постоянного тока 210 кВт, 330В и асинхронного двигателя 350 кВт, 720 об/мин. Скорость подъёма скипов была повышена до 2,5 м/с.

В 1937 г. на ХЭМЗ разработали следующую модель системы загрузки с усовершенствованной системой автоматического управления для печи Гипромеза объёмом уже 1300 м³. В этой модели скорость двигателей привода главного подъёмника КП4-4 была увеличена до 740 об/мин путём ослабления

потока. Питание двигателей осуществлялось от одного общего генератора типа ПБК-6, 500 кВт, 600В с приводным синхронным двигателем 700 кВА, 520кВт, 6 кВ, 750 об/мин. Управление конусами осуществлялось одной комбинированной лебёдкой. Расчётная скорость главного подъёмника была увеличена до 3 м/с.

Во второй половине XX-го века была значительно усовершенствована технология процесса производства чугуна и увеличена производительность доменных печей. Строились новые, крупные доменные печи, разрабатывались и внедрялись автоматические системы управления всё более высокого уровня, включающие в себя регулирование значительно большего числа параметров работы печей. В силу развития и повсеместного внедрения полупроводниковой техники, основным вариантом системы автоматической загрузки стала схема: «управляемый выпрямитель – двигатель». Использовались стандартные комплектные тиристорные электропривода серий КТЭУ, КТЭ, ЭКТ и др.

Современный этап развития систем загрузки доменных печей характеризуется высокими требованиями к их надёжности, точности и скорости отработки заданных программ. Неуклонное развитие отечественных систем автоматического управления в тесном сотрудничестве с зарубежными партнёрами позволило создать высоконадёжные компактные, удобные в наладке и эксплуатации программируемые электропривода с цифровой обработкой как регулируемых координат, так и задающего воздействия.

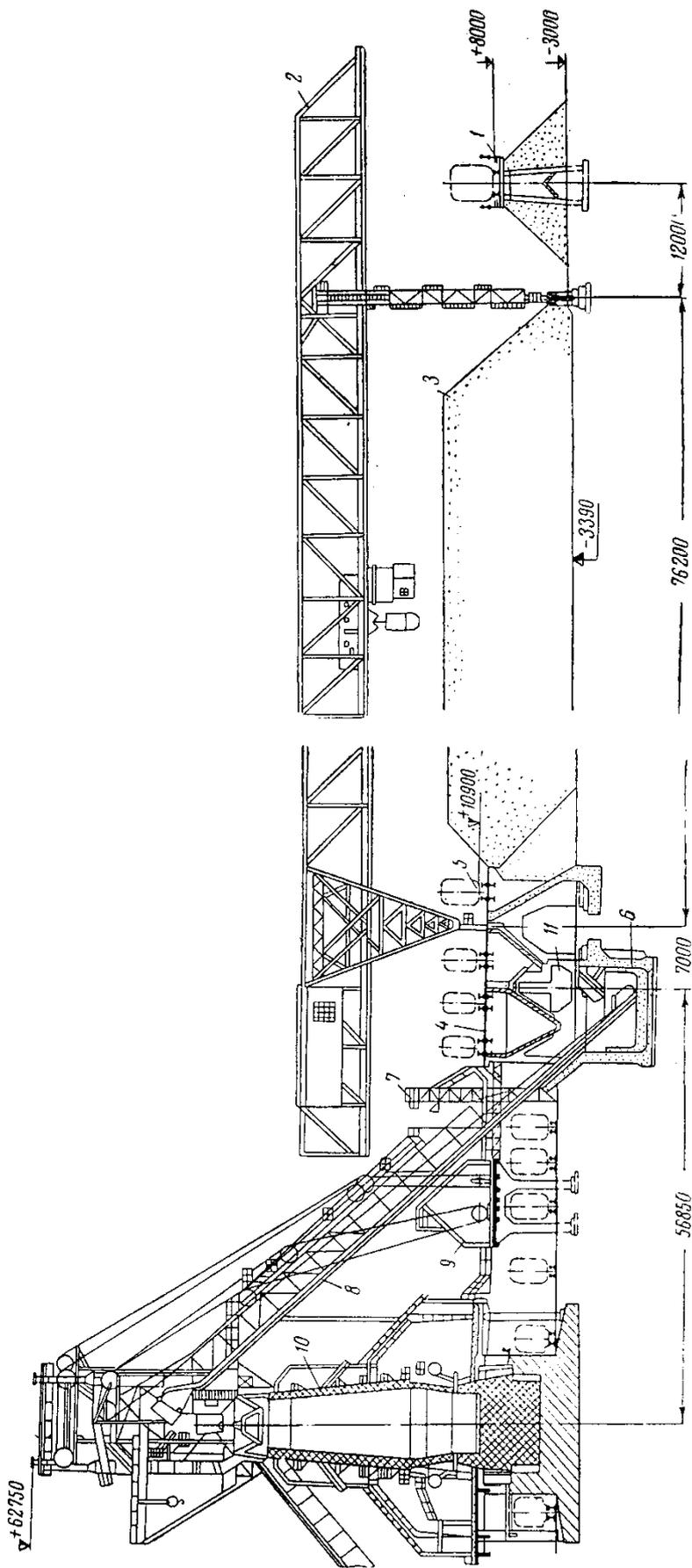


Рис. 2. Поперечный разрез доменного цеха:

1 — разгрузочная эстакада; 2 — перегружатель; 3 — штабель руды; 4 — бункерная эстакада; 5 — консольный разгрузочный путь; 6 — скиповая яма; 7 — подъемник коксовой мелочи; 8 — штабелер; 9 — машинное здание; 10 — доменная печь; 11 — вагон-весы

1.2 Механизм подъемника. Кинематическая схема. Режим работы и параметры.

Скиповый колошниковый подъёмник предназначен для загрузки в доменную печь шихтового материала. Пара скипов, в которые загружают шихту, подвешены на канатах лебёдки. Два каната от каждого скипа проходят через направляющие шкивы и намотаны на барабан лебёдки таким образом, что ветви канатов наматываются/разматываются при вращении лебёдки в разных направлениях. Причем изначально один из скипов находится в загрузочной яме, а другой опрокинут на колошнике воронки домны. Этим достигается поочерёдность работы скипов: когда начинают вращать лебёдку, одна ветвь канатов наматывается, а другая сматывается. Таким образом тот скип, что находился внизу двинется к крайнему положению на колошнике, а тот, что разгрузился - опустится в скиповую яму и станет на погрузку. После того, как разгрузится очередной скип, направление вращения лебёдки меняется на противоположное и цикл повторяется.

Короб скипа движется вверх/вниз по рельсам. В верхней части моста кроме основных уложены вспомогательные рельсы. Выгрузка материала шихты из кузова скипа в приемную воронку происходит следующим образом. Чисто механически задние катки скипа, имеющие два дополнительных внешних обода опираясь на вспомогательные рельсы поднимают задний торец кузова скипа так, что его содержимое высыпается в воронку. Пустой скип под действием собственного веса опускается вниз, возвращаясь на основные рельсы.

Механика работы подъёмника подразумевает реверсивный режим работы лебёдки. Для любого подъёмного механизма, графики движения: $V = f(t)$; $a = f(t)$; $L = f(t)$ должны рассматриваться для трёх участков: стартового разгона, равномерного движения и участка торможения. При этом обязательно нужно учесть специфические особенности режима работы привода скиповой лебёдки, диктуемые вышеописанной механикой её работы. В частности, как

описывалось, скип опускается вниз под действием собственного веса, возвращаясь на основные рельсы. На этом участке движения скорость лебёдки должна соответствовать скорости самостоятельного движения пустого короба скипа, для предотвращения ослабления сматывающихся канатов и последующих рывков, могущих опрокинуть короб или оборвать канаты. Соответственно, скорость движения на выходе с участка разгрузки составляет 1.5-2.5 м/сек. При подходе загруженного скипа к участку разгрузки скорость движения снижают до 1-1.5 м/сек. В конце участка отключается двигатель и лебёдка фиксировано останавливается в крайнем положении разгрузки с дополнительным наложением механических тормозов.

Графики скорости, ускорения и пути движения короба скипа в течение одного цикла работы приведены на рисунке 2.

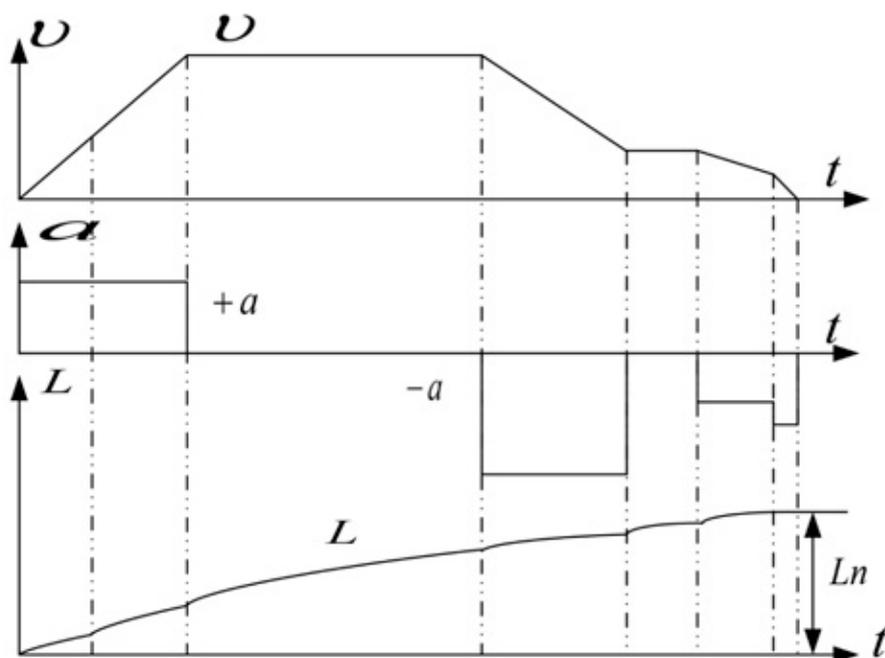


Рисунок 2 - Кривые скорости, ускорения и пути движения скипа

Параметры лебёдки скипов доменной печи типа ЛС 1-22,5-210, приведены в таблице

№	Параметр	Значение
1	Геометрическая ёмкость скипа Q_c , м	10
2	Вес пустого скипа G_c , кг	8400
3	Диаметр катка скипа D_c , мм	500
4	Диаметр цапфы катка D_p , мм	140
5	Диаметр каната D_K , мм	43,5
6	Вес погонного метра каната g_k кг	-16
7	Длина пути по канату, м: а) в скиповой яме L_c , м б) на мосту L_M , м в) на разгрузочном участке L_p , м	7 83 -5
8	Допустимая вытяжка канатов, мм	до 100
9	Допустимое расстояние от низа скипа до пола скиповой	200
10	Точность останова барабана лебёдки, мм	+25
11	Ширина колеи основного пути, мм	1454
12	Ширина колеи на разгрузочном участке, мм	1700
13	Угол наклона рельсового пути в яме α_i	60°
14	Диаметр направляющего шкива D_m , мм	2000
15	Маховый момент барабана (на собственном валу) GD^2_6 Маховый момент зубчатых колёс редуктора (на промежуточном валу) GD^2_3 кгм ² приведённый к валу двигателя	2 2 30000 39000 2200 550
16	GD двигателей и тормозных шкивов (на валу двигателей)	700
17	Грузоподъёмность (два двигателя/один двигатель): нормальная $G_{г.Н}$, кг максимальная (авар.) $вг.макс$, кг	22500/15000 15000/---
18	Скорость подъёма (два двигателя/один двигатель): нормальная v_n , м/с максимальная (форсиров.) $v_{макс}$, м/с	4/4 4/4
19	Передаточное число: от вала двигателя к промежуточному валу i_1 от промежуточного вала к валу барабана i_2 общее от	3,12 5,96
20	Диаметр барабана D_6 , мм	2000
21	Суммарный расчётный момент торможения на валу	637
22	Число двигателей	2

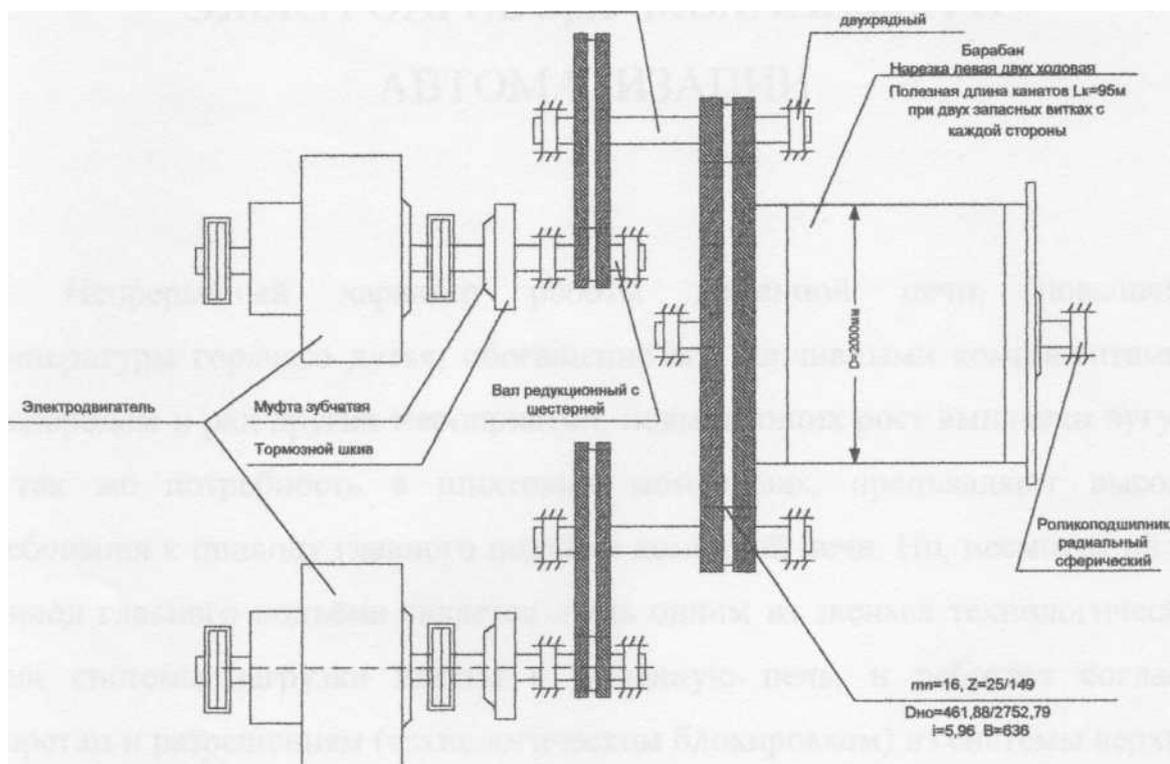


Рисунок 3 - Рисунок 3 – Элементы кинематики механизма лебёдки ЛС 1-22.5-210 в сборе.

1.3 Описание технологического процесса. Требования к электроприводу подъёмника и задачи автоматизации.

Непрерывный характер работы доменной печи, обогащение горячего дутья кислородом и горючими материалами, сопровождающееся повышением температуры работы и ещё целый ряд комплексных мероприятий, направленных на повышение производительности доменной печи. Соответствующая этому потребность в бесперебойной подаче шихтовых материалов предъявляют высокие требования к качеству работы привода главного подъёмника доменной печи. Тем не менее, электропривод главного подъёма является составным звеном технологической цепочки и работает в соответствии с требованиями, предъявляемыми ему в том числе и

сопряженными звеньями технологии (то есть систем верхней и нижней загрузки).

Технологическая цепочка, предваряющая непосредственно выплавку чугуна в домне, начинается с подсистемы нижней загрузки, состоящей из: поточно-транспортной системы подачи агломерата, кокса и флюсовых добавок; системы накопительных бункеров и вибрационных грохотов. На грохотах перед соответствующими им бункерами отсеивается мелкая фракция, которая возвращается на аглофабрику для переработки, где она спекается в агломерационные «пироги». Крупная фракция общим конвейером (коксовым и агломерационным) транспортируется в бункеры. Из бункеров, через весовые воронки точное количество шихтового материала (заданного требованиями технологического процесса) загружается в скип для дальнейшей транспортировки в систему загрузки доменной печи.

Во время загрузки короба скипа, осуществляемой через затвор, расположенный в нижней части весовой воронки, конвейер поточно-транспортной системы и система грохотов находятся в режиме ожидания. Соответствующий датчик выдаёт сигнал о заполнении скипа до заданного веса, по этому сигналу перекрываются затворы загрузки скипов и после этого грохоты и конвейер начинают новый цикл работы.

Собственно сам скиповый (главный) подъёмник принадлежит уже к верхней системе загрузки, в которую кроме него входят: засыпной аппарат к которому скипом транспортируется шихтовый материал. Засыпной аппарат состоит из конусов (большого и малого) создающих уравнительную зону давления. Над малым конусом расположен вращающийся распределитель шихты, распределяющий засыпаемую шихту по окружности доменной печи. Для создания давления в межконусном пространстве перед загрузкой материала в печь предусмотрены газовые клапана, для контроля уровня засыпи печи в системе наличествует лебёдка зондов.

Для начала движения скипа вверх на управляющий элемент системы должны прийти следующие сигналы:

- зафиксировано закрытое положение малого конуса;
- зафиксировано закрытое положение всех затворов;
- отсутствие сигнала о работе вращающегося распределителя шихты;
- отсутствие запрета на работу от оператора управления процессом.

После этого микроконтроллер выдаёт управляющий сигнал на начало движения и скип начинает подъём к засыпному аппарату. На разгрузочном участке движения он, переворачиваясь, высыпает шихту на малый конус. Разгрузившись, скип начинает движение вниз. Лебёдка (построенная по принципу уравновешенной двухмассовой системы) начинает вращение в противоположную сторону, соответственно второй скип, загрузившийся во время разгрузки первого, начинает движение вверх.

Следующим звеном в технологической цепочке выступает малый конус. Для начала его работы на управляющий элемент системы должны прийти следующие сигналы:

- о выравнивании давления в межконусном пространстве с атмосферным;
- о достаточном количестве материала на конусе (1-2 скипа);
- о недостаточном для загрузки в печь количестве материала на большом конусе;
- отсутствие запрета на работу от оператора управления процессом.

При соблюдении указанных условий, начинается следующий технологический этап. Накопленный на малом конусе материал ссыпается в большой конус. При наполнении большого конуса необходимым по технологическому регламенту количеством шихтового материала, необходимо опустить большой конус. Сначала уравнительными клапанами (выхлопными и наполняющими) выравнивается давление в межконусном пространстве. На этом этапе работы оно выравнивается с давлением в печи. Необходимо

повысить давление. Для этого закрывают сбрасывающие (выхлопные) клапана, а через открытые наполняющие клапана межконусное пространство соединяют с линией высокого давления. Величина давления контролируется датчиками КИП. После установления в межконусном пространстве давления равного внутривулканному, наполняющие клапана также закрываются и большой конус сбрасывает шихту в домну.

С целью равномерности распределения шихты по окружности доменной печи, предусмотрен вращающийся распределитель шихты, который, ещё на этапе прохождения материала шихты через малый конус распределяет его так, чтобы газопоток через шихту в домне был равномерным и уровень засыпи печи соответствовал технологическому регламенту.

1.4 Обоснование выбора рода тока и способа регулирования координат. Путь автоматизации технологического процесса.

Поставленные технологические задачи задают высокие требования к стабильности поддержания скорости и точности регулирования пространственных координат, в частности, остановки скипа в заданном месте. Относительно простым в управлении и, вместе с тем, достаточно надёжным в работе, для разрабатываемого привода будет двигатель постоянного тока, управляемый тиристорным преобразователем. Электропривод, реализованный по схеме ТП – Д, представляется достаточно быстродействующим, устойчивым к внешним помехам и обладающим достаточной точностью поддержания заданных параметров в рамках решения поставленной задачи.

Представляется возможным сравнить схему ТП – Д с иными системами стандартно использующимися для питания и управления двигателя в электроприводах постоянного тока. Наиболее распространены следующие схемы:

- электромашинного усилителя;
- транзисторного преобразователя;
- тиристорного преобразователя.

Основными достоинствами схемы Г – Д можно признать простоту схемы, малое влияние помех на питающую сеть. Однако, несмотря на простоту, схема Г – Д обладает большим количеством недостатков: высокой установленной мощностью электродвигателей, большим количеством коммутирующей аппаратуры, невысоким КПД = 0.86, шумностью системы, высокой инерционностью регулирующей системы.

Система ЭМУ – Д в противовес к высокому быстродействию и коэффициенту усиления по мощности $K_u = 10\ 000$ имеет нестабильные характеристики усилителя, требует наличия двух обмоток управления.

Достоинства системы ТрП – Д: высокий КПД = 0.96, возможность реализовать полностью управляемый электропривод перечеркиваются её сложностью в управлении и малой мощностью систем, реализуемых по этой схеме.

По сравнению с приведёнными выше схемами питания/управления электропривода постоянного тока, система ТП – Д обладает целым рядом достоинств:

- высокой жёсткостью электромеханических характеристик;
- относительно высоким КПД = 0.90;
- бесшумностью в работе;
- простотой в обслуживании и эксплуатации.

Система ТП – Д, безусловно, обладает рядом недостатков, как то:

- односторонняя проводимость тиристорного преобразователя, в силу чего требование наличия реверса двигателя подразумевает применение удвоенного комплекта управляемых вентиляей;

- при использовании режима прерывистого тока резко падает жёсткость электромеханических характеристик;
- невысока перегрузочная способность системы по току и напряжению.

Тем не менее, преимущества системы ТП – Д перевешивают её недостатки, что позволяет считать её основной и наиболее эффективной в настоящее время системой питания и управления электроприводом постоянного тока. И, как уже отмечалось в начале нашего обзора основных схем, система управляемый тиристорный преобразователь – двигатель представляется нам наиболее удовлетворяющей основным требованиям технологического процесса.

С развитием микропроцессорной техники в производство стали внедряться цифровые системы управления. Новые возможности позволяли переходить от частичной автоматизации производства к комплексной. Начали развиваться автоматические системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), резко возросла статическая точность регулирования. С увеличением производительной мощности микро-ЭВМ стало возможным использовать её для прямого цифрового управления. Была создана специальная периферия, обеспечивающая снятие параметров производственных процессов в реальном времени. Микро-ЭВМ оценивает соответствие регулируемых координат заданной программе и, в случае необходимости, выдаёт корректирующие импульсы на тиристоры.

Вне зависимости от того, строится ли система управления для одного или нескольких процессов, даже для относительно простых задач, приходится одновременно измерять, контролировать, регулировать в заданных пределах или корректировать по заданному алгоритму целую группу динамических параметров. Значение каждого параметра определяется соответствующим датчиком, после чего по каналам связи передаются микроконтроллеру, представляющему из себя устройство обработки информации. Микроконтроллер, в свою очередь, возвращает в систему управляющий сигнал.

Внедрение в производство микропроцессорных систем управления позволяет заменить устаревшие электрические или электромеханические управляющие элементы с однозначно заданной, неизменяемой логикой работы, на универсальное устройство, позволяющее стандартизировать и унифицировать целый ряд инженерных решений. При этом установка или изменение различных алгоритмов работы привода и обслуживаемой им машины достигается путём перепрограммирования стандартной микро-ЭВМ.

Сведение инженерных решений к типовым универсальным алгоритмам управления, простота ввода/вывода как периферийных, так и управляющих сигналов в микроконтроллере, позволяют разработать стандартные локальные системы управления электроприводами, сопрягая которые с устройствами верхнего уровня получить полноценные автоматические системы управления многодвигательными электроприводами или несколькими рабочими агрегатами одновременно.

Наличие специальных систем защиты памяти, системы защиты от помех, применение Больших Интегральных Схем в значительной мере повышает надёжность микропроцессорных систем управления. Возможность диагностики производственного комплекса и автокоррекции сигналов управляющей программы в режиме реального времени многократно увеличивает степень надёжности работы всей управляемой технологической цепочки в целом.

Значительным преимуществом микропроцессорных систем управления по сравнению с предшествующими им системами является возможность практической реализации сложных законов управления, которые были неосуществимы с помощью аналоговых средств. Использование в системе управления микропроцессорных систем значительно снижает сроки проведения пуско-наладочных работ, снижает их стоимость в силу того, что ряд необходимых для определения параметров регуляторов экспериментов микро-ЭВМ производит автоматически по заранее подготовленной программе.

Микро-ЭВМ в реальном времени регистрирует переходные и аварийные режимы, проводя их анализ и автоподстройку регуляторов.

Всеми вышеперечисленными возможностями в полной мере обладает семейство цифровых приводов постоянного тока SIMOREG K производства немецкой фирмы SIEMENS. Приводы SIMOREG K серии 6RA24 являются полностью цифровыми, компактными устройствами преобразования тока, подключаемыми к сети трёхфазного тока и предназначенными для питания и управления двигателями постоянного тока с возможностью полноценного регулирования частоты оборотов. Ввиду наличия устройства параметризации устройству не требуются дополнительные приборы программирования и измерений. Привод оснащён 16-ти битным микропроцессором, осуществляющим функции управления параметрами электродвигателя в соответствии с исполняемой программой.

Программные модули, осуществляющие функции регулирования, взаимосвязаны между собой через заданные параметры. Параметры могут задаваться оператором как непосредственно в собственном электронном табло аппаратуры, так и, через последовательный интерфейс RS232, посредством ввода данных на стационарном ПК с установленным программным обеспечением S1 MOVIS.

Аппаратно преобразователи имеют блочную структуру, причем количество и номенклатура устанавливаемых блоков меняется от требуемой величины номинального тока в диапазоне от 15 до 1200А. В нашем случае ставится преобразователь номиналом 640 – 1200А силовая часть которого выполнена из 6 блоков SITOP. Они располагаются на основном конструктиве, состоящем из рамы с изоляционными промежутками и шинпроводами для размещения блоков. Силовые выводы расположены на обратной стороне. Допускается 1.5-кратная перегрузка по току, причём длительность перегрузки зависит от специфики преобразователя.

Схема выпрямления – мостовая. Включение групп вентилях – встречно-параллельное.

Функциональная схема современной автоматической системы загрузки доменной печи включает в себя следующие подсистемы:

- подсистема верхней загрузки;
- подсистема нижней загрузки;
- подсистема «КАУПЕР», регулирующая работу воздухонагревателей;
- подсистема «КИП», контролирующая параметры технологического процесса посредством соответствующих датчиков.

Указанные подсистемы реализованы на основе контроллеров повышенной надёжности типа SIMATIC производства фирмы SIEMENS. Конструктивной особенностью этих контроллеров, обеспечивающих им «повышенную надёжность» является то, что они состоят из двух идентичных подсистем, связанных между собой по схеме «мастер – помощник». В оба центральных процессорных устройства (ЦПУ) пользователем загружена одинаковая программа. Они идентичным образом выполняют самотестирование и синхронизацию данных. Одна из подсистем – «мастер» управляет процессом, другая – «помощник» в этом случае является резервной. Если в управляющей системе возникает сбой (вне зависимости от его причины) резервная подсистема принимает управление на себя. Основными достоинствами подобного построения являются:

- синхронизация по событиям (обмен данными между основным и резервным ЦПУ происходит в режиме реального времени);
- переключение на резервный центр управления происходит мгновенно и, главное, без потерь данных;
- самотестирование контроллера уменьшает время ремонта при устранении неполадок;

- программирование данного контроллера осуществляется с помощью стандартного пакета STEP 7 и внешне ничем не отличается от программирования «обычного» контроллера.

Как связь между элементами, входящими в систему автоматической загрузки, так и её связь с другими автоматизированными системами и подсистемами технологического процесса осуществляется посредством специализированной шины обмена данными SINEC. Посредством подсистемы управления верхней загрузкой осуществляется контроль протекания технологического процесса загрузки в печь шихтовых материалов. Под её управлением осуществляются следующие производственные операции:

- работа скипового подъёмника;
- подсистемы пылеподавления;
- работа лебёдки конусов и лебёдки зондов;
- газовых клапанов межконусного пространства.

Посредством ЦПУ подсистемы верхней загрузки осуществляется синхронизация работы вышеупомянутых механизмов в соответствии с техническим регламентом, осуществляются взаимные блокировки поочередно выполняемых операций.

В случае невозможности устранения внештатной ситуации средствами и методами, заложенными в программу Микро-ЭВМ управляющей работой системы, она генерирует сообщение, предназначенное для оператора установки, о необходимости принятия технического решения и дальнейшему возвращению в автоматический режим работы системы.

1.5 Постановка технического задания.

Целью настоящей дипломной работы является разработка системы управления электроприводом лебёдки скипового подъёмника доменной печи, удовлетворяющей следующим требованиям:

Требования к структуре подсистемы электропривода лебедки и её месту в системе верхней загрузки печи

Управляемый электропривод лебёдки скипового подъёмника системы верхней загрузки доменной печи разрабатывается как полностью автоматизированная система под управлением собственной Микро-ЭВМ, что позволяет решить следующие задачи:

- качественное управление технологическим процессом в режиме реального времени;
- необходимую степень синхронизации в работе задействованного оборудования;
- взаимосвязь и обмен данными между всеми управляющими элементами и подсистемами, входящими в систему управления верхней загрузкой;
- повышение надёжности управления системой в целом.

Основным параметрам регулирования электропривода

- преобразователь реверсивный;
- сигнал управления цифровой;
- диапазон регулирования $D = 1000$;
- точность остановки в заданной точке ± 25 мм.

Параметры питающей сети

Питание тиристорного преобразователя осуществляется от преобразующего трансформатора 10/0.4, подключённого к сети переменного тока 10 кВ, 50 Гц.

Обеспечиваемые сроки службы электропривода

Бесперебойная работа разрабатываемого электропривода в течение всего срока службы обеспечивается высокой надёжностью используемых комплектующих, программного обеспечения и квалификации персонала наладчиков. Гарантийный срок производителя – 1 год. Реальный срок службы не менее десяти лет.

Требования безопасности работы

Электроприводы должны соответствовать требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.007.0, а также «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Составные части электроприводов в соответствии с ГОСТ 14254 должны иметь оболочку для защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями. Электроприводы должны иметь заземляющие зажимы, число и месторасположение которых устанавливаются в ТУ.

Шумовые характеристики электроприводов должны соответствовать нормам ГОСТ 12.1.003 и не должны превышать 80 дБА.

Требования к защите от влияния внешних воздействий.

По защищённости от проникновения пыли и влаги компоненты электропривода должны соответствовать исполнению IP55.

По устойчивости к внешним вибрационным воздействиям технические элементы электропривода должны соответствовать исполнению L3.

Электропривод должен сохранять работоспособность в диапазоне температур от - 10 до + 45 °С и относительной влажности воздуха от 40 до 80% при нормальных условиях, а также при перепадах давления в интервале от 630 до 800 мм.рт.ст (84 ... 107 кПа).

Требования к системе защиты.

В структуре электропривода должны быть предусмотрены следующие виды защит и блокировок:

- защиту от понижения напряжения сети, обрыва фаз и самозапуска электропривода;
- максимально-токовую защиту цепей управления и силовых цепей;
- интегрально-токовую защиту;
- защиту от короткого замыкания цепей управления и силовых цепей;
- защита от обрыва цепи возбуждения электродвигателя;
- защита от превышения допустимой скорости движения скипа;
- защита от обрыва цепи катушки механического тормоза;

2.1 Выбор двигателя. Проверка двигателя по нагреву.

2.1.1 Расчёт номинальной мощности приводных электродвигателей.

Расчёт ведётся по [4, стр. 194] в принятых в ней единицах измерения физических величин.

Требуемая мощность двигателей рассчитывается посредством нахождения момента нагрузки, приведённого к валу барабана и проверки найденных номинальных значений по условию допустимого нагрева. Момент нагрузки на валу барабана равен произведению силы натяжения каната на постоянный радиус барабана.

Дальнейшие расчеты будут проводиться путём вычисления натяжения тросов, как единственной переменной величины. В режиме подъёма короба с материалом натяжение наматывающихся канатов определяется весом собственно короба скипа, весом шихты в нём и весом непосредственно тросов. Натяжение разматывающейся ветви на спуске скипа складывается из веса его короба и тянущих тросов. Суммарным усилием этих разнонаправленных

натяжений и будем оперировать в дальнейших расчётах. Снижая вычислительную нагрузку, примем следующие упрощения

- обе ветви канатов и веса коробов на участке подъёма до разгрузки уравновешивают друг друга;

- на этапе разгрузки, суммарное натяжение прямо пропорционально весу материала в коробе скипа (от первоначального веса G_r до нуля;

механические потери мощности на трение в подшипниках и на направляющих, потери, обусловленные жёсткостью тросов при наматывании на барабан лебедки и изгибах их на шкивах обобщаются 5% величиной от веса механических элементов системы, то есть:

где G_k – полный вес системы тяговых тросов;

$$F_0 = 0.05 \times (G_k + 2 \times G_c + G_r) = 0,05 \times (11140 + 2 \times 8400 + 22500) = 2522 \text{ кГ}$$

Где $G_k = gk \times L_k = 16 \times 696.265 = 11140 \text{ кг}$ - суммарный вес канатов

$gk = 16 \text{ кг}$ - удельный вес тросов;

$$L_k = 4 \times (1.7 \times L_n + 2 \times r \times D_b) = 4 \times (1,7 \times 95 + 2 \times 3,14 \times 2) = 696,265 \text{ -общая длина}$$

каната

L_n - рабочая длина тросов [данные табл. 1];

D_b - рабочий диаметр барабана лебёдки [данные .табл. 1];

$G_c = 8400 \text{ кг}$ - масса короба скипа,

$G_r = 22500 \text{ кг}$ - масса шихтовых материалов в коробе скипа,

условимся так же считать, что нижние участки тросов параллельны пути подъёма скипа.

Данные, требующиеся для определения номинальных мощностей двигателей, сведены в таблицу 1.

Наибольшее суммарное усилие на барабане лебёдки $F_{\text{макс}}$ наблюдается во время подъёма гружёного короба в яме, поскольку на этом этапе достигает максимального значения статическое усилие.

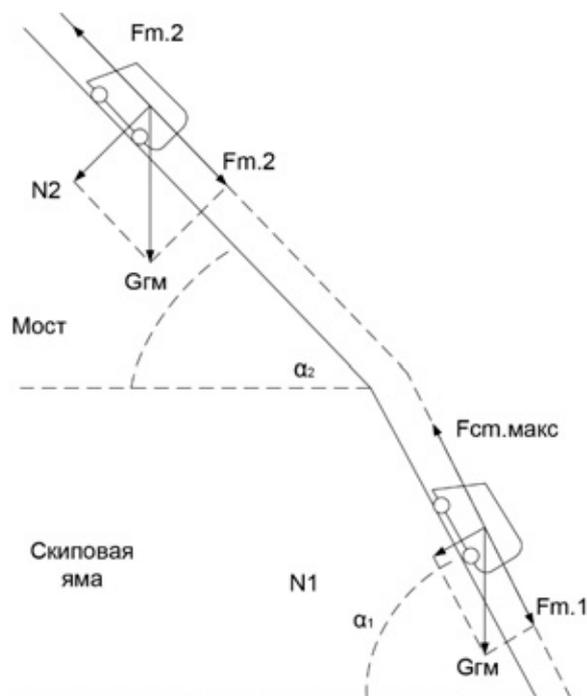


Рисунок 4 - Условная схема траектории движения подъёмника

Чтобы решить основное уравнение движения, в нашем случае формулирующееся, как:

$F_{\text{макс}} = F_{\text{ст.макс}} + P_{\text{дин.макс}}$. найдём составляющие $F_{\text{ст.макс}}$ и $F_{\text{дин.макс}}$.

Максимальное усилие против статической нагрузки $F_{\text{ст.макс}}$ найдём, используя схему траектории движения подъёмника (рис. 4)

Усилие наибольшей загрузки $G_{\text{г.макс}}$ разложим на ортогональные составляющие: усилие, направленное вдоль троса (работающее против движения $F_{\text{м1}}$) и нормальную к направлению движения составляющую N_1 , которая прижимает короб к опорам и является причиной потерь мощности на трение, в том числе и в подшипниках. Отсюда:

$$F_{\text{м1}} = G_{\text{г.макс}} * \sin(\alpha_1) = 25000 * \sin(60^\circ) = 21650 \text{ кг};$$

$$N_1 = G_{\text{г.макс}} * \cos(\alpha_1) = 25000 * \cos(60^\circ) = 12500 \text{ кг}.$$

Наибольшее усилие статической нагрузки на барабане лебёдки:

$$F_{\text{ст.макс}} = F_{\text{м1}} + F_0 = 21650 + 2522 = 24172 \text{ кг}.$$

Наибольшее усилие динамической нагрузки на барабане лебёдки:

$$P_{\text{д.макс}} = \sum m * a_{\text{макс}}, (1)$$

где: $\sum m$ – суммарная масс движущихся элементов, приведённых к тросу;
 $a_{\text{макс}} = 0,35 \text{ м/сек}^2$ – ускорение движения;

Нам известна суммированная маховая масса кинематических элементов привода и его двигателей:

$\sum GD^2_6 = 39000 \text{ кг*м}^2$ - суммированный маховый момент барабана лебёдки, приведённый к собственному валу;

$\sum GD^2_m = 30000 \text{ кг*м}^2$ - суммированные маховые моменты шести шкивов, приведенные к собственному валу;

$\sum GD^2_3 = 2200 \text{ кг*м}^2$ - суммированные маховые моменты зубчатых колёс редуктора, приведённые к промежуточному валу;

$\sum GD^2 = 700 \text{ кг*м}^2$ - суммированные маховые моменты электродвигателей привода и их тормозных шкивов, приведённые к общему валу двигателей;

Просуммируем значения инерционных масс, приведя их к общему тросу лебёдки. Вычислим сумму масс вышеперечисленных элементов кинематической схемы привода, приведённых к тросу подъёмника:

$$\begin{aligned} \dot{a} m_1 &= \frac{GD^2_6 + GD^2_m + GD^2_3 + i_2^2 + GD^2_{\delta} \times i^2}{g \times D\delta^2} = \\ &= \frac{39000 + 30000 + 2200 \times 5,6^2 + 700 \times 18,6^2}{9,8 \times 2^2} = 6998 \frac{\text{кг} \times \text{сек}^2}{\text{м}} \end{aligned}$$

где $g = 9.8 \text{ м/сек}^2$ - ускорение свободного падения;

$D\delta$ - рабочий диаметр барабана лебёдки [данные табл. 1];

Аналогичным образом определим приведённые массы прочих кинематических элементов механической части привода:

$$m_n = \frac{G_k + 2 * G_c + G_{г.макс}}{g} = \frac{11140 + 2 * 8400 + 25000}{9,8} = 5402 \frac{\text{кг} \times \text{сек}^2}{\text{м}}$$

сумму значений инерционных масс, приведённых к тросу лебёдки определим, как::

$$\sum m = \sum m_1 + m_n = 9698 + 5402 = 15100 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

Максимальное динамическое усилие на ободе барабана определим из формулы (1):

$$F_{\text{д.макс}} = 15100 \cdot 0,35 = 5285 \text{кГ}$$

Максимальное окружное усилие на ободе барабана определим из выражения:

$$F_{\text{д.макс}} = F_{\text{ст.макс}} + F_{\text{д.макс}} = 24172 + 5285 = 29457 \text{кГ}$$

Найдём номинальную мощность двигателя (по максимальному перегрузочному моменту) из выражения:

$$P_{\text{ном}} = \frac{F_{\text{макс}} \times v_{\text{макс}}}{102 \times \eta \times K_{\text{п}} \times N_{\text{д}}} = \frac{29457 \times 4}{102 \times 0,9 \times 2,5 \times 2} = 256,7 \text{кВт}$$

где $\eta = 0,952 = 0,9$ - К.П. Д двухступенчатой передачи;

$K_{\text{п}} = 2,5$ - коэффициент допустимой перегрузки;

$N_{\text{д}} = 2$ - число двигателей.

2.1.2 Проверка двигателей по нагреву

Проверка двигателей по нагреву производится путём определения среднеквадратичной нагрузки за время одной подачи.

Наиболее точное значение среднеквадратичного тока получается путём построения расчётных кривых токов за время одной подачи, с учётом переходных режимов привода. Приближённый расчёт может быть выполнен на основании идеализированного графика движения со средними значениями ускорений и скоростей (см. рисунок 5).

Для каждого скипа, входящего в подачу, строим кривые статических и динамических усилий в функции времени. Складывая эти кривые, получаем кривую результирующих окружных усилий на ободе барабана лебёдки. Далее находим среднеквадратичное усилие и мощность привода, требующуюся для подъёма данного скипа. Аналогичным путём

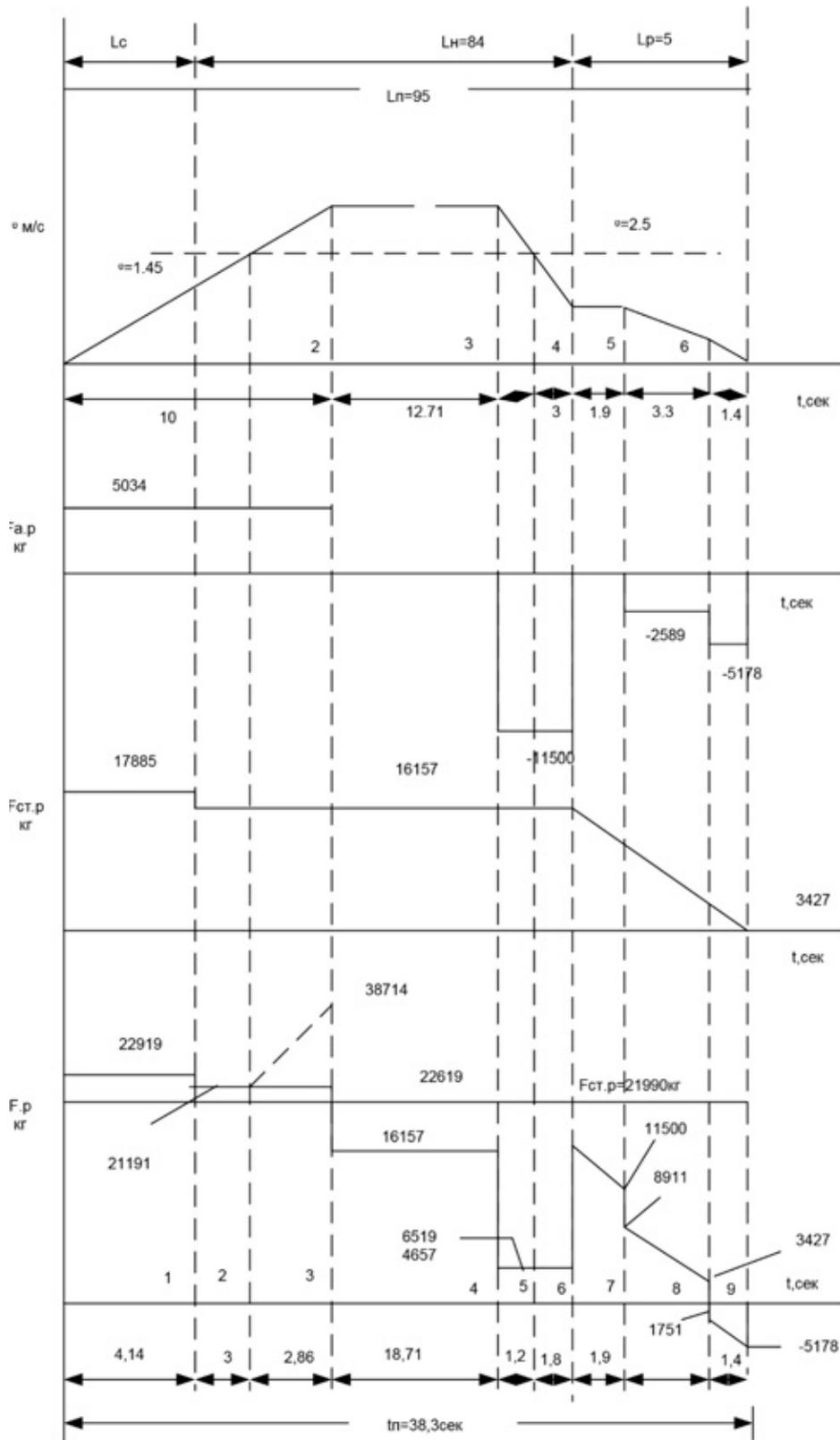


Рисунок 5 - Расчётные графики усилий при подъёме рудного скипа

рассчитываем среднеквадратичную мощность для других скипов, после чего определяем среднеквадратичную мощность двигателей за время всей подачи.

Упростим вычисления, приняв для всей рудной части средний насыпной вес, исходя из фактического состава и количества рудных материалов:

$\gamma_r = 1,8$ - коэффициент веса для рудной части;

$\gamma_k = 0,45$ - коэффициент для коксовой части.

Тогда достаточно провести весь расчёт только для двух случаев: при подъёме одного рудного скипа и одного коксового скипа. Найдём расчётную среднеквадратичную мощность двигателей, кВт, по формуле:

$$P_{\text{СК}} = \sqrt{\frac{(2 \cdot P^2 \cdot \text{ск.р} + 2 \cdot P^2 \cdot \text{ск.к}) \cdot t_{\text{п}}}{4 \cdot t_{\text{п}} + 0,5 \cdot (2 \cdot t_{\text{вв}} + 2 \cdot t_{\text{к}})}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{п}}$ - полное время подъёма скипа;

$t_{\text{вв}}$ - время стоянки скипа при загрузке рудными материалами из воронко-весов;

$t_{\text{к}}$ - время стоянки скипа при загрузке его коксом;

0,5 - коэффициент, учитывающий ухудшение условий охлаждения открытых двигателей с естественной вентиляцией при остановке.

Принимаем значения $t_{\text{п}}$, $t_{\text{вв}}$, $t_{\text{к}}$ согласно реально существующим в системе загрузки доменной печи №3 ОАО «ЗСМК»:

$t_{\text{п}} = 38$ с;

$t_{\text{вв}} = 30$ с;

$t_{\text{к}} = 30$ с;

Рассчитаем среднеквадратичную мощность при подъёме рудного скипа по методике, изложенной в [4, стр. 195].

Найдём полезный вес груза в скипе:

$$G_{\text{г}} = \rho \cdot \gamma_{\text{р}} \cdot Q_{\text{с}} = 1,8 \cdot 10000 = 18000 \text{ кг}$$

Тогда сопротивление движению на участке в скиповой яме определим из выражения:

$$F'.т - p = G.г - p \cdot \sin(\alpha 1) = 18000 \cdot \sin(60^\circ) = 18000 \text{ кГ}$$

Зная полезный вес груза в скипе, рассчитаем суммарные потери в кинематической цепи барабан - скипы:

$$F'.с - p = 0,05 \cdot (G.k + 2 \cdot G.c + G.г - p) = 0,05 \cdot (11140 + 2 \cdot 8400 + 18000) = 2297 \text{ кГ}$$

Далее необходимо определить статические усилия на ободе барабана на участке в скиповой яме и на прямолинейном участке. Статические усилия определим из следующих выражений:

$$F'.ст - p = F'.т - p + F'.с - p, \text{ кГ}; \quad (3)$$

$$F''.ст - p = F''.т - p + F'.с - p, \text{ кГ}, \quad (4)$$

Где $F''.т - p = G.г - p \cdot \sin(\alpha 2)$, кГ - сопротивление движению на прямолинейном участке моста.

$$F''.т - p = 18000 \cdot \sin(50.35^\circ) = 13860 \text{ кГ}.$$

Найдём значение выражений 3 и 4

$F'.ст - p = 15588 + 2297 = 17885$ кГ. - статическое усилие на ободе барабана на участке в скиповой яме.

$F''.ст - p = 13860 + 2297 = 16157$ кГ.. - статическое усилие на ободе барабана на прямолинейном участке моста.

Найдём приведённые к канату инерционные массы:

1) всех поступательно движущихся частей:

$$m'п - p = \frac{Gk + 2 \cdot G.c + G.г - p}{g} = \frac{11140 + 2 \cdot 8400 + 18000}{9,8} = 4687 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}.$$

2) суммарное значение

$$\sum m.p = \sum m'п - p + \sum m_l = 4687 + 9698 = 14358 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

Определим динамические усилия на ободе барабана:

1) на участке 0-2 в скиповой яме

$$F_{ap-02} = \sum m \cdot p \cdot a_{01} \quad (5)$$

2) на участке 3-4 (при подходе к разгрузочной кривой)

$$F_{ap-34} = -\sum m \cdot p \cdot a_{34} \quad (6)$$

3) на участке 5-6 (второе замедление)

$$F_{ap-56} = -\sum m \cdot p \cdot a_{56} \quad (7)$$

4) на участке 6-7 (последний участок замедление)

$$F_{ap-67} = -\sum m \cdot p \cdot a_{67} \quad (8)$$

Для продолжения расчёта динамических усилий рассчитаем график движения по наклонному мосту. Определим время первого участка [4, стр. 188].

Время первого участка:

где $v_{23} = 3.5 \text{ м/с}$ - скорость на прямолинейном участке наклонного моста;

$a_{02} = 0.35 \text{ м/с}^2$ - ускорение при разгоне скипа до прямолинейного участка;

тогда из выражения (9) время движения на первом участке:

$$t_{02} = \frac{v_{23}}{a_{02}}, \quad (9)$$

где $v_{23} = 3.5 \text{ м/с}$ - скорость на прямолинейном участке наклонного моста;

$a_{02} = 0.35 \text{ м/с}^2$ - ускорение при разгоне скипа до прямолинейного участка;

тогда из выражения (9) время движения на первом участке:

$$t_{02} = \frac{3.5}{0.35} = 10 \text{ с.}$$

Длина пути участка 0-2:

$$L_{02} = \frac{v_{23}}{2} \cdot t_{02} = \frac{3.5}{2} \cdot 10 = 17.5 \text{ м,}$$

Длина пути участка 2-3, проходимого с максимальной скоростью:

$$L_{23} = L_{07} - L_{02} - L_{37}, \quad (10)$$

Где $L_{07} = 95 \text{ м}$ - полный путь скипа по канату.

$L_{37}=12\text{м}$ - расстояние, проходимое скипом от начала первого ускорения до полной остановки;

$$L_{23}=95-17,5-12=65,5\text{м.}$$

Время участка 2-3:

$$t_{34}=\frac{L_{23}}{v_{23}}=\frac{65,5}{3,5}=18,7\text{с};$$

При выходе скипа на участок 3-4 (участок первого торможения), скорость снижается до значения 1,1м/сек. Найдём время первого торможения:

$$t_{34}=\frac{v_3 - v_4}{a_{34}}, \quad (11)$$

где $v_3=3,5\text{м/с}$ - скорость скипа на прямолинейном участке наклонного моста.

$v_4=1,1\text{м/с}$ - скорость скипа по окончании первого торможения (точка 4).

$a_{34}=0,8\text{м/с}^2$ - первая производная от скорости скипа на участке первого торможения.

$$t_{34}=\frac{3,5-1,1}{0,8}=3\text{с.}$$

Имея время движения скипа на участке 3-4 найдём длину участка:

$$L_{34}=\frac{v_3 - v_4}{2} \cdot t_{34} = \frac{3,5 - 1,1}{2} \cdot 3 = 6,9\text{м.}$$

Найдём длину участка 4-5 из следующего выражения:

$$L_{45}=L_{37}-L_{34}-L_{57}, \quad (12)$$

где $L_{57} = 3\text{м}$ - длина пути скипа на участке 5-7 [4, стр. 188].

тогда из выражения 12 длина пути скипа на участке 5-7:

$$L_{23}=12-6,9-3=2,1\text{м.}$$

Найдём время, затрачиваемое скипом на прохождение участка 4-5:

$$t_{45}=\frac{L_{45}}{v_4}=\frac{2,1}{1,1}=1,9\text{с.}$$

Найдём длину пути скипа на участке 5-6 из следующего выражения:

$$L_{56} = L_{57} - L_{67}, \quad (13)$$

Где $L_{67} \approx 0,35\text{м}$ - - длина пути участка 6-7.

Тогда из выражения 13 длина пути участка 5-6:

$$L_{67} = 3 - 0,35 = 2,65\text{м}$$

Найдём время, необходимое для прохождения участка 5-6 из следующего выражения:

$$t_{56} = \frac{2 \cdot L_{56}}{v_5 + v_6}, \quad (14)$$

где $v_5 = 1,1\text{м/сек}$ - скорость в точке 5 [4, стр. 188]

$v_6 = 0,5\text{м/сек}$ - скорость в точке 6 [4, стр. 188]

тогда из выражения 14 время, необходимое для прохождения участка 5-6 равно:

$$t_{56} = \frac{2 \cdot 2,65}{1,1 + 0,5} = 3,3\text{с.}$$

Найдём замедление на участке 5-6:

$$a_{56} = \frac{v_5 \cdot v_6}{t_{56}} = \frac{1,1 \cdot 0,5}{3,3} = 0,18\text{м/с}^2.$$

Найдём время прохождения участка 6-7:

$$t_{67} = \frac{2 \cdot L_{67}}{v_6} = \frac{2 \cdot 0,35}{0,5} = 1,4\text{с.}$$

Тогда среднее замедление на участке 6-7 равно:

$$a_{67} = \frac{v_6}{t_{67}} = \frac{0,5}{1,4} \approx 0,36\text{м/с}^2.$$

Произведя расчёт графика движения скипа по наклонному мосту имеем все данные для нахождения полного времени подъёма скипа:

$$t_n = t_{02} + t_{23} + t_{34} + t_{45} + t_{56} + t_{67} = 10 + 18,71 + 3 + 1,9 + 3,3 + 1,4 = 38,3\text{с.}$$

Из выражения 5 найдём динамическое усилие на ободу барабана на участке 0 - 2 (в скиповой яме):

$$F_{ap-02} = 14385 \cdot 0,35 = 5034 \text{кГ}$$

Из выражения 6 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 3-4 (при подходе к разгрузочной кривой):

$$F_{ap-34} = -14385 \cdot 0,8 = -11500 \text{кГ}$$

Из выражения 7 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 5-6 (второе замедление):

$$F_{ap-56} = -14385 \cdot 0,18 = -2589 \text{кГ}$$

Из выражения 8 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 6-7 (последний участок замедления):

$$F_{ap-67} = -14385 \cdot 0,36 = -5178 \text{кГ}$$

Зная динамические усилия на ободе барабана на участках наклонного моста найдём суммарные усилия на ободе барабана. Участок 0-2 разобьем на 3 участка, так как в нём имеется наклон моста в скиповой яме, прямолинейный участок наклонного моста, а так же зона разгона с ослаблением поля. Но для расчёта так же необходимо найти скорость, которой достигнет скип по выходу на прямолинейный участок наклонного моста, а для нахождения скорости необходимо знать время, которое понадобится скипу для преодоления этого участка. Итак, время, необходимое для прохождения участка пути в скиповой яме найдём из выражения:

$$t = \sqrt{\frac{S}{a_{02}}},$$

где $S = 6\text{м}$ - путь скипа на участке наклонного моста с наклоном α 1.

Тогда время движения из выражения 15 равно:

$$t = \sqrt{\frac{6}{0,35}} = 4,14 \text{с},$$

Зная время движения на этом участке найдём скорость, которую разовьет скип по выходу с участка скиповой ямы;

$$v = \frac{S}{t} = \frac{6}{4.14} = 1.449 \text{ м/с},$$

Этот участок обозначим, как участок t_{01} . Далее необходимо найти время, за которое скип достигнет скорости 2,5 м/сек. Время найдём из выражения:

$$t_1 = \frac{v_2 - v}{a_{02}}, \quad (16)$$

где $v_2 = 2,5 \text{ м/сек}$ – скорость перехода на ослабление поля двигателя.

Тогда из выражения 16 найдём время движения скипа на прямолинейном участке наклонного моста без ослабления поля:

$$t_1 = \frac{2,5 - 1,449}{0,35} = 3 \text{ с},$$

Зная время t и t_1 найдём время, затрачиваемое скипом для достижения скорости с 2,5 м/сек до 3,5 м/сек с ослаблением поля:

$$t_2 = t_{02} - t - t_1 = 10 - 4,14 - 3 = 2,86 \text{ с}.$$

Найдём суммарные усилия на ободе барабана для участка 0-2.

1) для времени t :

$$F_{p01} = F_{ap-02} + F'_{ст-р} = 5034 + 17885 = 22919 \text{ кГ}$$

2) для времени t_1 :

$$F_{p12} = F_{ap-02} + F''_{ст-р} = 5034 + 16157 = 21191 \text{ кГ}$$

3) для времени t_2 :

$$F_{p23} = (F_{ap-02} + F'_{ст-р}) \cdot \frac{v_{23}}{2,5} = (5034 + 16157) \cdot \frac{3,5}{2,5} = 38714 \text{ кГ}$$

где $\frac{v_{23}}{2,5}$ - коэффициент, учитывающий приведённые к канату расчетные

(фиктивные) усилия при ослаблении поля двигателей.

4) для времени t_{34} :

расчётное (фиктивное) усилие без ослабления поля равно $F''_{ст-р}$

расчётное (фиктивное) усилие с ослабления поля равно:

$$F_{p34} = F''_{ст-р} \cdot \frac{v_{23}}{2,5} = 16157 \cdot \frac{3,5}{2,5} = 22619 \text{кГ}$$

5) для времени t_{45} :

с ослаблением потока:

$$F_{p45} = (F''_{ст-р} + F''_{ар-34}) \cdot \frac{v_{23}}{2,5} = (16157 - 11500) \cdot \frac{3,5}{2,5} = 6519 \text{кГ}$$

без ослабления потока:

$$F'_{p45} = F''_{ст-р} + F_{ар-34} = 16157 - 11500 = 4657 \text{кГ}$$

6) для времени t_{56} :

$$F_{p56} = F''_{ст-р} + F_{ар-34} = 16157 - 11500 = 4657 \text{кГ}$$

7) для времени t_{67} :

особенностью этого участка (участок 4-7) является то, что $F''_{ст-р}$ находим графо-аналитическим методом, так как на разгрузочном участке принимаем снижение расчетного усилия линейным от значения $F''_{ст-р}$ p (начальное) до $F''_{ст-р} = 0$. Тогда:

$$F_{p67} = F''_{ст-р} + F_{ар-56} = 11500 - 2589 = 8911 \text{кГ}$$

8) для времени t_{78} :

$$F_{p78} = F''_{ст-р} + F_{ар-67} = 3427 - 5178 = -1751 \text{кГ}$$

Далее рассчитаем среднеквадратичное усилие на ободе барабана при подъёме рудного скипа:

$$F_{ск-р} = \sqrt{\frac{\sum F_p^2 \cdot t}{t_y + 0,75t_a}}, \quad (17)$$

где t_y - время движения с равномерной скоростью;

$$t_y = t_{34} = 18,71 \text{ сек};$$

t_a - время движения с переменной скоростью;

$$t_a = t_{II} - t_y = 38,3 - 18,71 = 19,59 \text{сек};$$

0,75 - коэффициент, учитывающий ухудшение вентиляции при разгоне и торможении привода.

На временных интервалах t_{45} t_{67} t_{78} t_{89} для удобства расчёта усредним суммарные усилия. Тогда:

для временного интервала t_{23} :

$$F'_{p23} = \frac{F_{p12} + F_{p23}}{2} = \frac{21191 + 38714}{2} = 29952 \text{кГ}$$

для временного интервала t_{45} :

$$F'_{p45} = \frac{F_{p45} + F'_{p45}}{2} = \frac{6519 + 4657}{2} = 5588 \text{кГ}$$

для временного интервала t_{67} :

$$F'_{p67} = \frac{F_{ст-р} + F_{ст-р1}}{2} = \frac{16157 + 11500}{2} = 13828,5 \text{кГ}$$

для временного интервала t_{78} :

$$F'_{p78} = \frac{F_{p67} + F_{ст-р2}}{2} = \frac{8911 + 3427}{2} = 6169 \text{кГ}$$

для временного интервала t_{89} :

$$F'_{p89} = \frac{F_{p78} + F_{ар-67}}{2} = \frac{-1751 - 5178}{2} = 3464,5 \text{кГ}$$

тогда из выражения 17 среднеквадратичное усилие на ободе барабана при подъёме рудного скипа:

$$F_{ск-р} = \sqrt{\frac{F_{p01}^2 \cdot t + F_{p12}^2 \cdot t_1 + F'_{p23}^2 \cdot t_2 + F_{p34}^2 \cdot t_{34} + F'_{p45}^2 \cdot t_{45} + F'_{p56}^2 \cdot t_{56} + F'_{p67}^2 \cdot t_{67} + F'_{p78}^2 \cdot t_{78}}{t_y + 0,75 \cdot t_a}}$$

$$F_{ск-р} = \sqrt{\frac{22919^2 \cdot 4.14 + 21191^2 \cdot 3 + 27654^2 \cdot 2.86 + 22619^2 \cdot 18.71 + 5588^2 \cdot 1.2 + 13828.5^2 \cdot 1.9 + 6169^2 \cdot 3.3 + 3464.5^2 \cdot 1.1}{18.71 + 0.75 \cdot 19.59}}$$

$$F_{ст-р} = 21990 \text{кГ}$$

Найдём среднеквадратичную мощность двигателя при подъёме рудного скипа:

$$P_{\text{ск,р}} = \frac{F_{\text{ск-р}} \cdot v_{\text{м}}}{102 \cdot \eta \cdot N_{\text{д}}} = \frac{21990 \cdot 3,5}{102 \cdot 0,9 \cdot 2} = 404 \text{ кВт}$$

где $v_{\text{м}} = 3,5 \text{ м/сек}$ - максимальная скорость скипа;

$\eta = 0,9$ - КПД двухступенчатой передачи;

$N_{\text{д}} = 2$ - число двигателей.

Аналогичным образом рассчитаем среднеквадратичную мощность при подъёме коксового скипа.

Найдём полезный вес груза в скипе:

$$G_{\text{г-к}} = \gamma \cdot p \cdot Q \cdot c = 0,45 \cdot 10000 = 4500 \text{ кГ}$$

Тогда сопротивление движению на участке в скиповой яме определим из выражения:

$$F'_{\text{т-к}} = G_{\text{г-к}} \cdot \sin(\alpha_1) = 4500 \cdot \sin(60^\circ) = 3897 \text{ кГ}$$

Зная полезный вес груза в скипе, рассчитаем суммарные потери в кинематической цепи барабан - скипы:

$$F'_{\text{с-к}} = 0,05 \cdot (G_{\text{к}} + 2 \cdot G_{\text{с}} + G_{\text{г-к}}) = 0,05 \cdot (11140 + 2 \cdot 8400 + 4500) = 1622 \text{ кГ}$$

Далее необходимо определить статические усилия на ободе барабана на участке в скиповой яме и на прямолинейном участке. Статические усилия определим из выражений 3 и 4:

где $F''_{\text{т-к}} = G_{\text{г-к}} \cdot \sin(\alpha_2)$ - сопротивление движению на прямолинейном участке моста.

$$F''_{\text{т-к}} = 4500 \cdot \sin(50,35^\circ) = 3464 \text{ кГ}$$

Найдём значение выражений 3 и 4:

$F'_{\text{ст-к}} = 3807 + 1622 = 5519 \text{ кГ}$ - статическое усилие на ободе барабана на участке в скиповой яме.

$F''_{\text{ст-к}} = 3464 + 1622 = 5086 \text{ кГ}$ - статическое усилие на ободе барабана на прямолинейном участке моста.

Найдём приведённые к канату инерционные массы:

1) всех поступательно движущихся частей:

$$m'_{п-к} = \frac{G_{к+2} + G_{с+г-к}}{g} = \frac{11140 + 2 \cdot 8400 + 4500}{9.8} = 3311 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

2) суммарное значение

$$\sum m_{к} = m'_{п-к} + \sum m_l = 3311 + 9698 = 13008 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

Определим динамические усилия на ободе барабана:

Из выражения 5 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 0 - 2 (в скиповой яме):

$$F_{ак-02} = 13008 \cdot 0,35 = 4552 \text{кГ}$$

Из выражения 6 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 3-4 (при подходе к разгрузочной кривой):

$$F_{ак-34} = 13008 \cdot 0,8 = 10406 \text{кГ}$$

Из выражения 7 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 5-6 (второе замедление):

$$F_{ак-56} = -13008 \cdot 0,8 = -2341 \text{кГ}$$

Из выражения 8 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 6-7 (последний участок замедления):

$$F_{ак-67} = -13008 \cdot 0,36 = -4682 \text{кГ}$$

Найдём суммарные усилия на ободе барабана для участка 0-2.

1) для времени t :

$$F_{р 01} = F_{ак-02} + F'_{ст-к} = 4552 + 5519 = 10071 \text{кГ}$$

2) для времени t_1 :

$$F_{р 12} = F_{ак-02} + F''_{ст-к} = 4552 + 5086 = 9638 \text{кГ}$$

3) для времени t_2 :

$$F_{р 23} = (F_{ак-02} + F''_{ст-к}) \cdot \frac{v_{23}}{2,5} = (4552 + 5086) \cdot \frac{3,5}{2,5} = 13493 \text{кГ}$$

где $\frac{v_{23}}{2,5}$ - коэффициент, учитывающий приведённые к канату расчетные

(фиктивные) усилия при ослаблении поля двигателей.

4) для времени t_{34} :

расчётное (фиктивное) усилие с ослабления поля равно $F''_{\text{ст-к}}$

расчётное (фиктивное) усилие с ослабления поля равно:

$$F_{p\ 34} = F''_{\text{ст-к}} \cdot \frac{v_{23}}{2,5} = 5086 \cdot \frac{3,5}{2,5} = 7120 \text{кГ}$$

5) для времени t_{45} :

с ослаблением потока:

$$F_{p\ 45} = (F''_{\text{ст-к}} + F_{\text{ак-34}}) \frac{v_{23}}{2,5} = (5086 + 10406) \cdot \frac{3,5}{2,5} = -7448 \text{кГ}$$

без ослабления потока:

$$F'_{p\ 45} = F''_{\text{ст-к}} + F_{\text{ак-34}} = 5086 + 10406 = -5320 \text{кГ}$$

6) для времени t_{56} :

$$F_{p\ 56} = F''_{\text{ст-к}} + F_{\text{ак-34}} = 5086 + 10406 = -5320 \text{кГ}$$

7) для времени t_{67} :

особенностью этого участка (участок 4-7) является то, что $F''_{\text{ст-к}}$ находим графо-аналитическим методом, так как на разгрузочном участке принимаем снижение расчетного усилия линейным от значения $F''_{\text{ст-к}}$ (начальное) до

$F''_{\text{ст-к}} = 0$. Тогда:

$$F_{p\ 67} = F''_{\text{ст-к}} + F_{\text{ак-56}} = 3621 + 2341 = 1280 \text{кГ}$$

7) для времени t_{78} :

$$F_{p\ 78} = F''_{\text{ст-к}} + F_{\text{ак-67}} = 1078 + 4682 = -3604 \text{кГ}$$

Далее рассчитаем среднеквадратичное усилие на ободу барабана при подъёме коксового скипа из выражения 17.

На временных интервалах t_{23} t_{45} t_{67} t_{78} t_{89} для удобства расчёта усредним суммарные усилия. Тогда:

для временного интервала t_{23} :

$$F''_{p23} = \frac{F_p 12 + F_p 23}{2} = \frac{9638 + 13493}{2} = 11565 \text{кГ}$$

для временного интервала t_{45} :

$$F'_{p67} = \frac{F_{ст-п} + F_{ст-к1}}{2} = \frac{5086 + 3621}{2} = 4353 \text{кГ}$$

для временного интервала t_{78} :

$$F'_{p78} = \frac{F_p 67 + F_{ст-к2}}{2} = \frac{1280 + 1078}{2} = 1179 \text{кГ}$$

для временного интервала t_{89} :

$$F'_{p89} = \frac{F_p 78 + F_{ак-67}}{2} = \frac{-3604 - 4682}{2} = -4143 \text{кГ}$$

тогда из выражения 17 среднеквадратичное усилие на ободе барабана при подъёме коксового скипа:

$$F_{ск-п} = \sqrt{\frac{F_{p01}^2 \cdot t + F_{p12}^2 \cdot t_1 + F''_{p23}^2 \cdot t_2 + F_{p34}^2 \cdot t_{34} + F''_{p45}^2 \cdot t_{45} + F'_{p56}^2 \cdot t_{56} + F'_{p67}^2 \cdot t_{67} + F'_{p78}^2 \cdot t_{78}}{t_y + 0,75 \cdot t_a}},$$

$$F_{ск-п} = \sqrt{\frac{10071^2 \cdot 4,14 + 9638^2 \cdot 3 + 11565^2 \cdot 2,86 + 7120^2 \cdot 18,71 + 6384^2 \cdot 1,2 + 4353^2 \cdot 1,9 + 1179^2 \cdot 3,3 + 4132^2 \cdot 1,4}{18,71 + 0,75 \cdot 19,59}},$$

$$F_{ст-к} = 8010 \text{кГ}$$

Найдём среднеквадратичную мощность двигателя при подъёме коксового скипа из выражения 18:

$$P_{ск,к} = \frac{8010 \cdot 3,5}{102 \cdot 0,9 \cdot 2} = 152,7 \text{кВт}$$

Из выражения 2.1 найдём среднеквадратичную мощность двигателя:

$$P_{ск} = \sqrt{\frac{(2 \cdot 404^2 + 2 \cdot 152,7^2) \cdot 38}{4 \cdot 38 + 0,5 \cdot (2 \cdot 30 + 2 \cdot 30)}} = 258 \text{кВт}$$

Таким образом, электропривод лебёдки С 1-22,5-210 удовлетворяет условиям проверки по максимальному моменту и нагреву при условии обеспечения максимальной производительности.

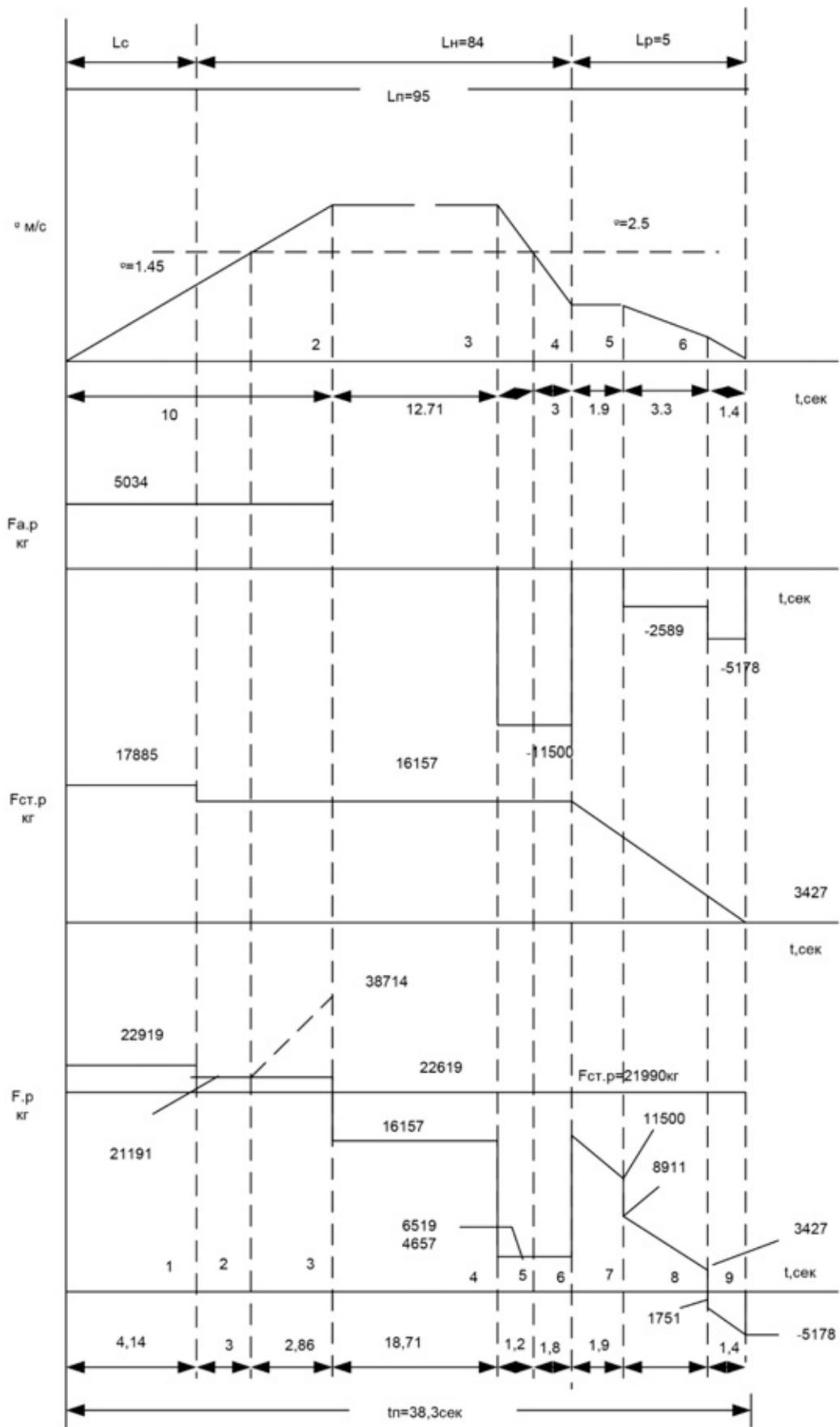


Рисунок 6 - Расчётные графики усилий при подъёме коксового скипа

2.2. Расчет и выбор элементов электрооборудования силовой цепи.

2.2.1 Выбор электродвигателя

Исходя из выше приведённых расчётов выбираем двигатель типа ДП74/34-6 со следующими паспортными данными

Номинальная мощность	$P_n = 260\text{кВт};$
Номинальный ток	$I_n = 860\text{А};$
Номинальная скорость	$n_n = 500/700 \text{ об/мин};$
Номинальный момент	$M_n = 0,508/0,363\text{т*м};$
Число параллельных ветвей обмотки якоря	$a=3;$
Число витков на полюс для обмотки возбуждения	$w_d =$
715вит/пол;	
Номинальный ток возбуждения	$I_{н.в} = 6,7/4,4\text{А};$
Номинальный поток на полюс	$\Phi_n =$
0,0725/0,052Вб;	
Число пар полюсов	$p = 3;$
Сопротивление обмотки якоря	$R_{\text{оя.л20}}^{\circ} = 0,0075\text{Ом}$
Сопротивление добавочных полюсов	$R_{\text{дп.л20}}^{\circ} = 0,0015\text{Ом}$
Сопротивление компенсационной обмотки	$R_{\text{ко.л20}}^{\circ} = 0,004\text{Ом}$
Сопротивление обмотки возбуждения	$R_{\text{ов.л20}}^{\circ} =$
17,9Ом	



Рисунок 3 – Электродвигатель скипового подъемника

Найдём сопротивление двигателя в горячем состоянии:

$$R_{\text{дв.гор}} = 1,38 \times (R_{\text{я.д.20}^\circ} + R_{\text{дп.д20}^\circ} + R_{\text{ко.д20}^\circ}) + \frac{\Delta U_{\text{щ}}}{I_{\text{н}}} =$$

$$1,38 \times (0,0075 + 0,0015 + 0,004) + \frac{2}{860} = 0,02026 \text{ Ом}$$

где $\Delta U_{\text{щ}} = 2 \text{ В}$ - падение напряжения на щётках;

Номинальная угловая скорость вращения вала двигателя

$$\omega_{\text{н}} = \frac{p \times n}{30} = \frac{3,14 \times 500}{30} = 52,36 \text{ рад/с}$$

Конструктивная постоянная двигателя

$$c = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \times R_{\text{дв.гор}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{330 - 860 \times 0,02}{52,36} = 5,97 \text{ В} \times \text{с}$$

Индуктивность якоря одного электродвигателя

$$L_{\text{д.в}} = g \times \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}} \times p \times \omega_{\text{н}}} = 0,15 \times \frac{330}{860 \times 3 \times 52,36} = 0,0003664 \text{ Гн}$$

где $g = 0,15$ - коэффициент для компенсированных электродвигателей;

$p = 3$ число пар полюсов.

Найдём момент инерции одного электродвигателя

$$J_{\text{дв}} = \frac{0,5 \times GD_{\text{дв}}^2}{4} = \frac{0,05 \times 700}{4} = 87,5 \text{кГм}^2$$

Эквивалентный момент инерции электропривода

$$J_{\text{э}} = 2 \times J_{\text{дв}} + \frac{GD_{\text{м}}^2}{4} = 2 \times 87,5 + \frac{550}{4} = 312,5 \text{кГм}^2$$

2.2.2 Выбор тиристорного преобразователя

Исходя из рассчитанной номинальной мощности электродвигателя, выбираем реверсивный тиристорный преобразователь типа SIMOREG К 6RA2491-4DV62-0.



Рисунок 4 – Преобразователь скипового подъемника

Тиристорные преобразователи входящие в состав комплектных микропроцессорных электроприводов постоянного тока SIMOREG DC MASTER серии 6RA70 являются цифровыми преобразователями модульного типа подключаемыми к трехфазной сети и служащими для питания якоря и обмотки возбуждения двигателей постоянного тока с номинальными токами якоря от 15А до 2200А. Параллельным включением нескольких преобразователей возможно поднять номинальное значение тока до 12 кА. В зависимости от величины тока якоря, на обмотку возбуждения возможно подавать до 85 А.

В зависимости от технологических требований, преобразователи могут эксплуатироваться как в реверсивном, так и в нереверсивном режимах. Благодаря наличию интегрированной системе задания и настройки параметров, в силу чего отпадает потребность в каких-либо дополнительных внешних устройствах параметрирования, преобразователи полностью автономны. Все функции управления, параметризации, контроля и самотестирования выполняются в режиме реального времени под управлением одной микросхемы встроенной Микро-ЭВМ.

Комплектные преобразователи SIEMENS SIMOREG 6RA70 отличаются компактностью и эргономичностью основного аппаратного исполнения. В дверцу корпуса преобразователя встроено собственное электронное табло модулей регулирования. Эти модули могут быть также оснащены элементами поддержания дополнительных технологических функций и последовательных интерфейсов, служащих для приёма/передачи внешних сигналов как в двоичном (цифровом), так и в аналоговом виде (периферийные датчики и т.п.). Программное обеспечение преобразователя хранится в встроенной памяти flash EPROM. Обновление программного обеспечения загружается через последовательный интерфейс RS232.

Справочные данные на тиристорный преобразователь приведены в таблице 2

Таблица 2 Данные тиристорного преобразователя

Прим.	Наименование	Обозначение	Данные
ПАСПОРТНЫЕ ДААННЫЕ	Схема выпрямления	трёхфазная мостовая	
	Число пульсаций	т _б	6
	Номинальное напряжение	выпрямленное U _н	420В
	Номинальный выпрямленный ток	I _н	2 x 850А
	Кратность перегруза по току ТП	I _{макс} /I _н	1,5

2.2.3 Расчёт и выбор силового трансформатора

Выбор согласующего силового трансформатора для питания вентильного преобразователя производится по расчётным значениям I_{2ф} и U_{2ф} вторичной обмотки и типовой мощности трансформатора S_{тр} согласно [3].

Найдём расчётное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора.

$$U_{2.ф.расч} = K_{u2} \times \frac{1}{K_c} \times K_a (1 + K_R \times \frac{2.5 \times I_H}{I_H}) \times U_{d.макс}, \quad (21)$$

Где K_c=0,85- коэффициент, учитывающий заданное снижение напряжения в сети (15%).

K_{u2} = 0.428 - расчётный коэффициент, характеризующий соотношение U_{2ф}/E_{d0} в идеальном выпрямителе.

a_{мин} = 30° - минимальный угол открывания тиристоров.

- коэффициент, учитывающий падение

$$\cos(a_{мин}) \cos(30)$$

напряжения в преобразователе.

$K_R = 0.1$ - коэффициент, учитывающий падение напряжения в преобразователе.

$$U_{d, \max} = c \cdot \omega_n - 2,5 \cdot I_n \cdot R_{\text{дв.гор}} = 5,97 \cdot 52,36 - 2,5 \cdot 860 \cdot 0,01 = 269 \text{ В}$$

максимальное напряжение на двигателе

Тогда из выражения(21)

$$U_{2, \text{ф.расч}} = 0,428 \cdot \frac{1}{0,85} \cdot 1,155 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \frac{2,5 \cdot 860}{860}\right) \cdot 269 = 195,5 \text{ В}$$

Расчётное действующее значение фазового тока вторичной обмотки

$$I_{2, \text{ф.расч}} = K_I \cdot K_{I2} \cdot I_d = 1,1 \cdot 0,815 \cdot 860 = 770,99 \text{ А,}$$

где $K_I = 1,1$ - коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной;

$K_{I2} = 0.815$ - коэффициент, характеризующий отношение I_ϕ/I_d и зависящий от схемы выпрямления,

$$I_d = I_n$$

Расчётная типовая мощность трансформатора:

$$S_{\text{тр.расч}} = K_S \cdot \frac{U_{2, \text{ф.расч}}}{K_{u2}} \cdot K_I \cdot I_d = 1,045 \cdot \frac{195,5}{0,428} \cdot 1,1 \cdot 860 = 4,516 \cdot 10^5 \text{ В} \times \text{А,}$$

где $K_S = 1,045$ – коэффициент схемы.

Максимальная мощность, отдаваемая трансформатором в режиме рабочей перегрузки двигателя

$$S_{\text{тр.расч}} = K_S \cdot (1 + K_R \cdot 2,5) \cdot K_I \cdot P_{\text{дв.макс}}$$

$$S_{\text{тр.расч}} = 1,045 \cdot (1 + 0,1 \cdot 2,5) \cdot 1,1 \cdot 709500 = 1,019 \cdot 10^6 \text{ В} \times \text{А}$$

Где $P_{\text{дв.макс}} = 0,2 \cdot U_n \cdot I_n = 2,5 \cdot 330 \cdot 860 = 709500 \text{ Вт}$ - максимальная мощность, потребляемая двигателем.

Выбираем из [5] трансформатор типа ТСЗП - 630/10УЗ со следующими паспортными данными:

Номинальное значение фазного тока вторичной обмотки трансформатора:

$$I_{2ф.н} = I_{2л.н} = 1020\text{А}$$

Номинальное значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора:

$$U_{2ф.н} = \frac{U_{2л.н}}{\sqrt{3}} = \frac{313}{\sqrt{3}} = 181\text{В.}$$

Угловая частота питающей сети:

при частоте питающей сети $f = 50\text{Гц}$

$$\omega_n = 2 \cdot \pi \cdot f_c = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314\text{рад/с.}$$

Активное сопротивление обмотки трансформатора на фазу

$$R_{тр.ф} = \frac{\Delta P_{кз}}{m2 \cdot I_{2ф.н}^2} = \frac{6350}{3 \cdot 1020^2} = 0,00202\text{Ом.}$$

Реактивное сопротивление обмотки трансформатора на фазу

$$Z_{тр.ф} = \frac{U_{кз\%} \cdot U_{2ф.н}}{100 \cdot I_{2ф.н}} = \frac{6.2 \cdot 181}{100 \cdot 1020} = 0,011\text{Ом.}$$

Полное сопротивление обмотки трансформатора на фазу

$$X_{тр.ф} = \sqrt{Z_{тр.ф}^2 - R_{тр.ф}^2} = \sqrt{0,011^2 - 0,012^2} = 0,0108\text{Ом.}$$

Индуктивность обмотки трансформатора на фазу

$$L_{тр.ф} = \frac{X_{тр.ф}}{\omega_c} = \frac{0,0108}{314} = 0,0000344\text{Гн.}$$

2.2.4 Выбор токоограничивающих реакторов

Полное сопротивление токоограничивающего реактора определяется по формуле

$$Z_p = \frac{U_{кз\%} \cdot U_{ф.н}}{100 \cdot I_{2ф.расч}} = \frac{4 \cdot 220}{100 \cdot 770,99} = 0,011\text{Ом.}$$

где $U_{кз\%}$ - относительное напряжение короткого замыкания реактора, $U_{кз\%}$

=4

$U_{\Phi,Н}$ - номинальное фазное напряжение сети.

Реактивное сопротивление фаз реактора

$$X_p \approx Z_p = 0,011 \text{ Ом.}$$

Индуктивность фазы реактора

$$L_p = \frac{X_p}{\omega_c} = \frac{0,011}{314} = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Расчётное значение тока, протекающего через реактор равно

$$I_{\Phi,Р,РАСЧ} = K_{12} \cdot K_1 \cdot \frac{I_H}{2} = 0,815 \cdot 1,05 \cdot \frac{860}{2} = 368 \text{ А.}$$

Исходя из выше перечисленных условий выбираем трёхфазный токоограничивающий реактор типа **РТСТ - 660 - 0,034 УЗ** со следующими паспортными данными:

Номинальный ток фазы реактора $I_{p,\Phi} = 660 \text{ А;}$

Индуктивность фазы реактора Активное $L_{p,\Phi} = 0,034 \cdot 10^{-3} \text{ Гн;}$

Активное сопротивление фазы реактора $R_{p,\Phi} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$

Найдём реактивную составляющую сопротивления токоограничивающего реактора

$$X_{p,\Phi} = L_{p,\Phi} \cdot \omega = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot 314 = 0,0107 \text{ Ом.}$$

2.2.5 Определение параметров фаз

Фазное активное сопротивление

$$R_{\Phi} = R_{ТР,\Phi} + R_{\Phi,Р} = 0,002 + 0,0013 = 0,0033 \text{ Ом.}$$

Фазная индуктивность

$$L_{\Phi} = L_{ТР,\Phi} + L_{\Phi,Р} = 0,0000344 + 0,000034 = 0,0000684 \text{ Гн.}$$

Реактивная составляющая полного сопротивления фазы

$$X_{\Phi} = X_{ТР,\Phi} + X_{\Phi,Р} = 0,0108 + 0,0107 = 0,0215 \text{ Ом.}$$

2.2.6 Определение параметров эквивалентного преобразователя

Эквивалентное фазное сопротивление преобразователя

$$R_{\Phi.Э} = \frac{R_{\Phi}}{2} = \frac{0,0033}{2} = 0,00165 \text{ Ом.}$$

Эквивалентная фазная индуктивность преобразователя

$$L_{\Phi.Э} = \frac{L_{\Phi}}{2} = \frac{0,000068}{2} = 0,000034 \text{ Гн.}$$

Эквивалентное реактивное сопротивление преобразователя

$$X_{\Phi.Э} = \frac{X_{\Phi}}{2} = \frac{0,0215}{2} = 0,01075 \text{ Ом.}$$

2.2.7 Выбор сглаживающего дросселя

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

Наибольшая ширина зоны прерывистых токов при раздельном 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:

$$L_{\text{кн1}} = \frac{1}{\omega_c} \cdot K_{\text{гр.макс}} \cdot \frac{U_{2\text{ф.н}}}{K_{u2} \cdot I_{\text{д.гр}}} = \frac{1}{314} \cdot 0,093 \cdot \frac{181}{0,428 \cdot 86} = 1,456 \cdot 10^{-3} \text{ Гн,}$$

где $I_{\text{д.гр}} = 0,1 \cdot I_{\text{н}} = 0,1 \cdot 860 = 86 \text{ А}$ - значение начально-непрерывного тока.

$$K_{\text{гр.макс}} = 1 - \frac{\pi}{m_{\text{в}}} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m_{\text{в}}} = 1 - \frac{3,141}{6} \cdot \text{ctg} \frac{3,141}{6} = 0,093.$$

Индуктивность добавочного дросселя определяется по следующему выражению:

$$L_{\text{др1}} = L_{\text{кн1}} - 2 \cdot L_{\text{ТР.н}} - L_{\text{ДВ}} = 0,001456 - 2 \cdot 0,000034 - 0,0003664 = 1,0216 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

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 $E_d = E_{d0} \cdot \cos \alpha$, и переменную, состоящую из спектра гармоник. Ограничиваемая с учётом влияния первой гармоники необходимая величина индуктивности цепи выпрямленного тока может быть определена по выражению:

$$L_{\text{кн2}} = \frac{E_{d(1).\text{макс}} \cdot 100}{m_B \cdot \omega_c \cdot P_{(1)\%} \cdot I_d} = \frac{102,52 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 5 \cdot 860} = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

где $E_{d(1).\text{макс}}$ - действующее значение первой гармоники пульсирующего выпрямленного напряжения при угле управления $\alpha = 90^\circ$.

$$E_{d(1).\text{макс}} = \frac{U_{2\phi.\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot m_B}{K_{u2} \cdot (m_B^2 - 1)} = \frac{181 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{0,428 \cdot (6^2 - 1)} = 102,52 \text{ В.}$$

$P_{1\%} = 5$ - допустимое действующее значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах.

Индуктивность добавочного дросселя определим из следующего выражения:

$$L_{\text{др2}} = L_{\text{кн2}} - 2 \cdot L_{\text{ТР.Н}} - L_{\text{ДВ}} = 0,00126 - 0,000068 - 0,0003664 = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Из [5] выбираем дроссель типа **ФРОС - 1000/0,5У3** со следующими параметрами:

Индуктивность дросселя $L_{\text{др}}$ 0,0016 Гн;

Активное сопротивление дросселя $R_{\text{др}}$ 0,0031 Ом;

Длительный ток $I_{\text{длит}}$ 1000 А.

2.2.8 Расчёт параметров силовой цепи

Расчётное сопротивление силовой цепи:

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{дв.гор}} + 2 \cdot R_{\text{Ф.Э}} + R_{\text{ДР}} + R_{\text{К}} = 0,02 + 0,0033 + 0,0031 + 0,0102 = 0,035 \text{ Ом.}$$

где $R_{\text{К}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot X_{\text{Ф.Э}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,01075}{2 \cdot 3,14} = 0,0102 \text{ Ом}$ - сопротивление, вносимое за счет

коммутации анодных токов.

Расчётное значение индуктивности силовой цепи:

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + 2 \cdot L_{\text{Ф.Э}} + L_{\text{ДР}} = 0,0003664 + 0,000068 + 0,0016 = 0,00203 \text{ Гн.}$$

Электромагнитная постоянная времени силовой цепи:

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = \frac{0,00203}{0,035} = 0,058 \text{ с.}$$

Механическая постоянная времени силовой цепи:

$$T_{\text{м}} = \frac{J_{\text{Э}} \cdot R_{\text{яц}}}{c^2} = \frac{312,5 \cdot 0,061}{5,97^2} = 0,0533 \text{ с.}$$

Найдём отношение.

$$\frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{яц}}} = \frac{0,533}{0,058} = 9,18.$$

так как $T_{\text{м}}/T_{\text{яц}} \gg 8$, то влиянием внутренней обратной связи по ЭДС двигателя в расчётах можно пренебречь.

2.3 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик 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. Последняя в свою очередь ограничена предельными характеристиками, соответствующими работе

проводящей группы вентилях в режиме предельного инвертирования, а в выпрямительном режиме при минимальном угле управления. Выполнение этого условия требует значительного запаса по напряжению и мощности преобразователя и силового трансформатора. Так же должны быть выполнены следующие условия: при пониженном напряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления электромеханическая характеристика разомкнутой системы должна быть расположена выше точки с координатами $\omega = \omega_{\max}$ и $I = I_n$ а при реверсировании электропривода должно обеспечиваться безопасное инвертирование при допустимом токе двигателя.

Для построения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода найдём характеристику электропривода при номинальном потоке двигателя и выпрямительном режиме работы преобразователя:

$$\omega_{0,\text{выпр.норм.}\phi} = \frac{1}{c} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\alpha_{\min})) = \frac{1}{5,97} \cdot (422,21 \cdot \cos(20^\circ)) = 66,45 \text{ рад/с},$$

$$\text{где } E_{d0} = \frac{(U_{2\phi,\text{н}} / \sqrt{3})}{K_{u2}} = \frac{(313 / \sqrt{3})}{0,428} = 422,22 \text{ В} - \text{ ЭДС преобразователя при угле}$$

управления $\alpha = 0^\circ$

$$\omega_{\max\text{выпрнорм}\phi} = \frac{1}{c} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\alpha_{\min}) - 2,5 \cdot I_d \cdot R_{ял}) = \frac{1}{5,97} \cdot (422,221 \cdot \cos(20^\circ) - 2,5 \cdot 860 \cdot 0,035) = 53,85 \text{ рад/с},$$

Координаты при ослаблении потока.

При ослаблении потока кратность тока двигателя должна быть снижена до 2, что учтено в расчёте.

$$\omega_{0,\text{выпр.осл.}\phi} = \frac{1}{c_1} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\alpha_{\min})) = \frac{1}{4,282} \cdot (422,221 \cdot \cos(20^\circ)) = 92,65 \text{ рад/с, где}$$

$$c1 = c \cdot \frac{\Phi_{\text{мин}}}{\Phi_{\text{н}}} = 5,97 \cdot \frac{0,052}{0,073} = 4,282 \text{В} \cdot \text{с} - \text{ конструктивная постоянная}$$

электродвигателя при ослабленном потоке.

$\Phi_{\text{мин}} = 0,052 \text{В} \cdot \text{сек}$ - минимальный поток на полюс (ослабление поля);

$\Phi_{\text{н}} = 0,073 \text{В} \cdot \text{сек}$ - номинальный поток на полюс.

$$\omega_{\text{макс.выпр.осл.ф}} = \frac{1}{c1} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\alpha_{\text{мин}}) - 2 \cdot I_d \cdot R_{\text{яц}}) = \frac{1}{4,282} \cdot (422,221 \cdot \cos(20^\circ) - 2 \cdot 860 \cdot 0,035) = 78,59 \text{рад/с},$$

Рассчитаем и построим электромеханические характеристики при работе токопроводящей группы в режиме предельного инвертирования.

При номинальном потоке:

$$\omega_{0.\text{инв.норм.ф}} = \frac{1}{c} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\delta)) = \frac{1}{5,97} \cdot (422,221 \cdot \cos(4,7^\circ)) = 70,49 \text{рад/с},$$

$$\text{где } \delta 1 = \frac{180 \cdot \omega_c \cdot t_{\text{в}}}{\pi} = \frac{180 \cdot 314 \cdot 150 \cdot 10^{-6}}{3,14} = 2,7^\circ - \text{ угол, соответствующий}$$

времени восстановления запирающих свойств тиристора $t_{\text{в}}$.

$t_{\text{в}} = 150 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$ - время восстановления запирающих свойств тиристора

$\delta_2 = 2^\circ$ - предельно допустимое значение асимметрии импульсов управления.

$$\delta = \delta 1 + \delta 2 = 2 + 2,7 = 4,7^\circ$$

$$\omega_{\text{макс.инв.норм.ф}} = \frac{1}{c} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\delta) - (\frac{m_{\text{в}}}{\pi} \cdot X_{\text{тр.ф}} - R_{\text{яц}}) \cdot 2,5 \cdot I_{\text{д.н}})$$

$$\omega_{\text{макс.инв.норм.ф}} = \frac{1}{5,97} \cdot (422,221 \cdot \cos(4,7^\circ) - (\frac{6}{3,14} \cdot 0,033 - 0,035) \cdot 2,5 \cdot 860) = 60,38 \text{рад/с}$$

При ослабленном потоке:

$$\omega_{0.\text{инв.осл.ф}} = \frac{1}{c1} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\delta)) = \frac{1}{4,282} \cdot \cos(4,7^\circ) = 98,27 \text{рад/с}.$$

$$\omega_{\text{макс.инв.осл.ф}} = \frac{1}{c1} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\delta) - (\frac{m_{\text{в}}}{\pi} \cdot X_{\text{тр.ф}} - R_{\text{яц}}) \cdot 2 \cdot I_{\text{д.н}})$$

$$\omega_{\text{макс. инв. осл. ф}} = \frac{1}{4,282} \cdot (422,21 \cdot \cos(4,7^\circ)) - \left(\frac{6}{3,14} \cdot 0,033 - 0,035\right) \cdot 2 \cdot 860 = 87 \text{ рад/с}$$

На основании расчетных данных строим заданную область существования электромеханических характеристик при номинальном и ослабленном потоке двигателя (рисунок 7).

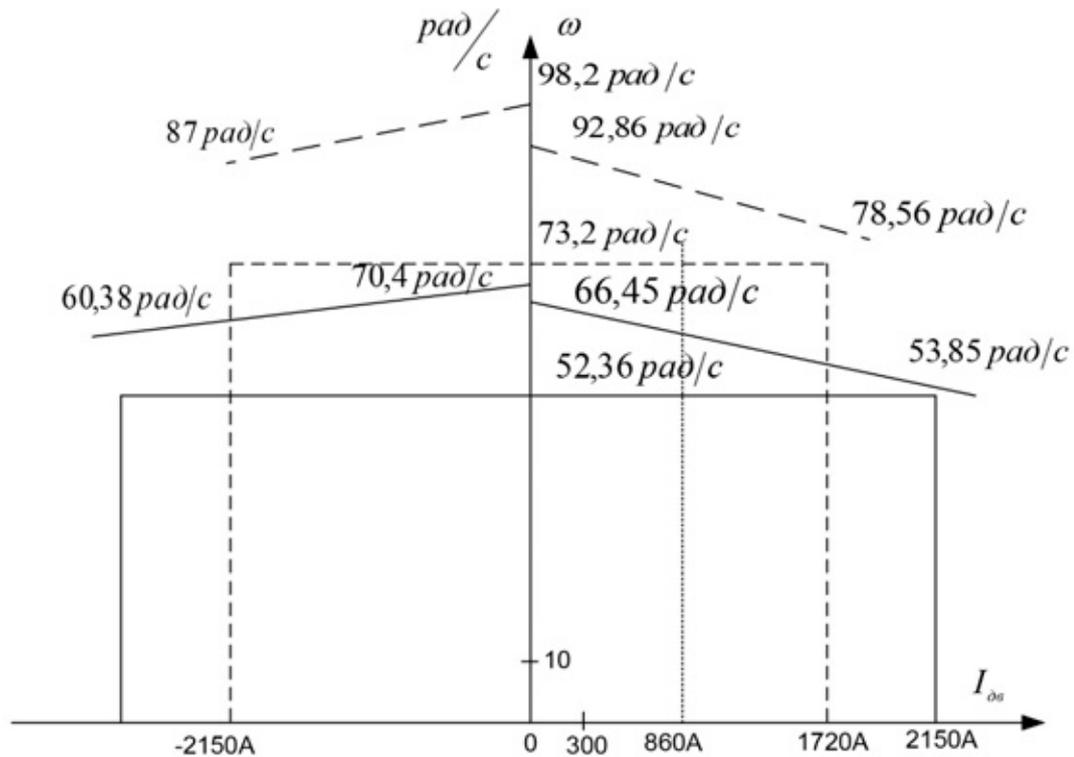


Рисунок 7-Область существования электромеханических характеристик
Пунктиром показаны характеристики при ослаблении потока.

2.4 Электромеханические характеристики системы преобразователь - двигатель

Скорость вращения вала электродвигателя:

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

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

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

ΔU_e – прямое падение напряжение на тиристоре.

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

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

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

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

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол α . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрямленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к прерывистому соответствует режим

начально-непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла α и параметров схемы.

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

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

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

$$e(\alpha) = \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right).$$

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

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

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

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

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

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

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

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

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

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристорov α (в диапазоне $0 \dots 180$) и угол проводимости λ ($0 \dots 60$), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 12:

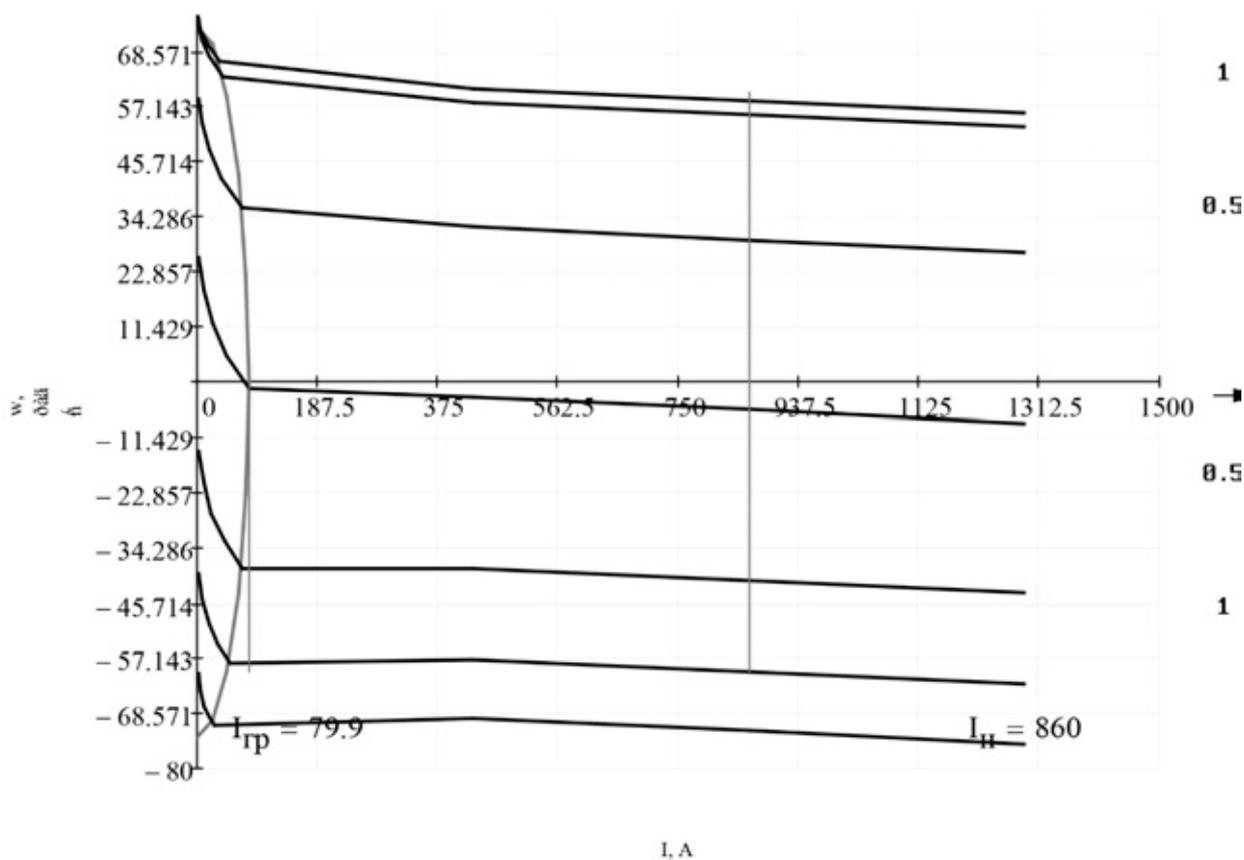


Рисунок 12 – Электромеханические характеристики системы УВ-Д с отдельным управлением

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

Как видно из графиков рисунка 13 отношение $\frac{I_{dcrmax}}{I_{дн}} = \frac{546}{3620} = 0,15$, что является приемлемым.

2.5 Структурная схема линейризованной САУ

Структурная схема линейризованной САУ регулируемого электропривода приведена на рисунке 4.1

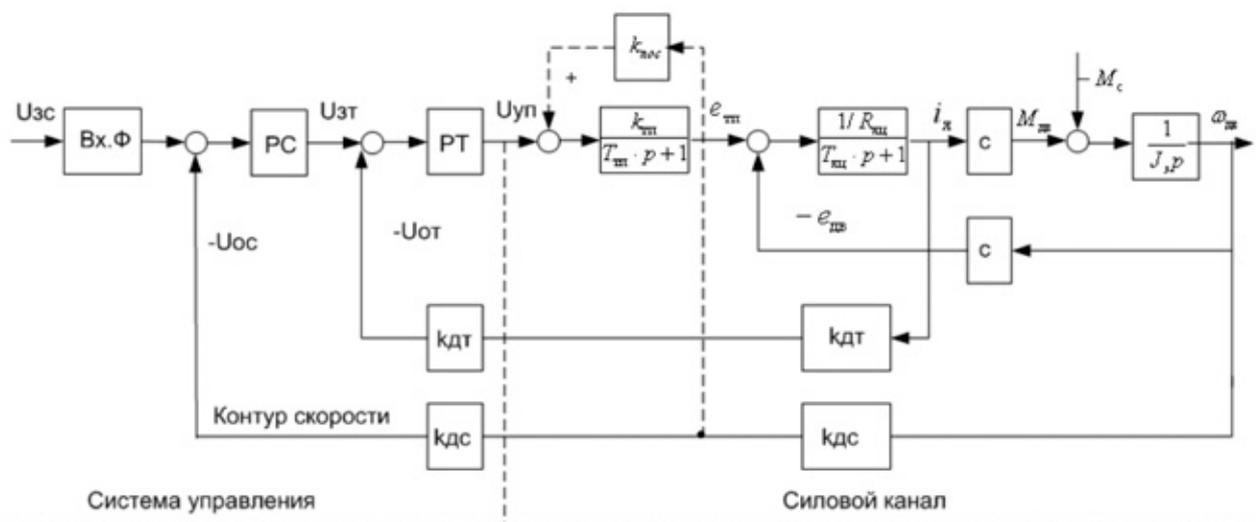


Рисунок 4.1 – Структурная схема линейризованной САУ РЭП

2.6 Синтез системы автоматического управления электроприводом.

Разработка системы автоматического управления регулируемым электроприводом (САУ РЭП) является задачей синтеза регуляторов, обеспечивающих требуемые динамические параметры системы на выходе, вне зависимости от возмущающих воздействий. В случае, когда предварительно задана структурная схема электромеханической системы, для которой разрабатывается система регулирования, когда известны (определены исходя из иных требований) параметры механической системы и силовой (электрической) части разрабатываемого электропривода, задача сводится к определению параметров регуляторов обратных связей по заданным передаточным функциям электромеханической системы. В решении этой задачи важен выбор метода расчёта, который позволил бы, рассматривая несколько вариантов решения задачи, выбрать из них оптимальный. В данном дипломном проекте для расчёта регуляторов САУ мы используем методы, ориентированные на использование ЛЧХ.

$$T_{\text{тия}} = \frac{0,5}{m_e \cdot f_c} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с}$$

В том или ином варианте структура 3 моделируется с допущением о том, что ЭДС двигателя не оказывает влияния на структуру САУ и ее обратная связь не учитывается. В пункте 8 приведена структурная схема разрабатываемой системы, соответствующая структуре 3б [4]. Используя наличествующую методику 8 [4], проведём дальнейшие расчёты. Оптимизация проводится для сглаживания реакции элементов системы на вносимое воздействие. Принимается точка настройки F, для которой принимаются следующие оптимизирующие коэффициенты $a_t = 2$; $a_c = 2$; $b_c = 2$. [4 таблица 3.4, стр.41]. Формулы для расчёта искомых параметров содержатся в [4 таблица 3.3, стр.40].

Вычислим максимальную угловую частоту вращения двигателя

$$\omega_{\text{макс}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{макс}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 700}{30} = 73,26 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

2.6.1 Контур тока

Контур тока якорной цепи настраиваем на модульный оптимум в соответствии с методикой, изложенной в [3]. В качестве базовой структуры выбрана структура 3б и точка настройки F, имеющая наиболее удовлетворительные показатели в переходном процессе для данного привода (достаточно высокое быстродействие и малое перерегулирование). Передаточная функция ПИ регулятора тока имеет вид:

$$W_{\text{pm}}(p) = k_{\text{pm}} \frac{T_{\text{pm}} \cdot p + 1}{T_{\text{pm}} \cdot p}$$

Для данной настройки полоса пропускания САУ РЭП по модулю и по фазе имеет вид:

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0.71}{T_{\mu T}} = 425.15 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ или } f_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\pi} = 67.7 \text{ Гц.}$$

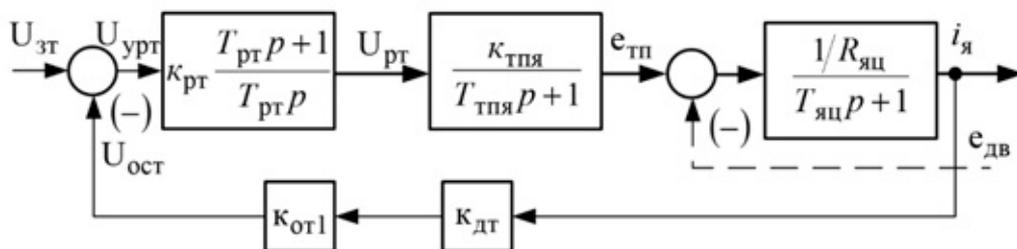


Рисунок 12 - Структурная схема контура тока

Коэффициент обратной связи по току двигателя

$$K_T = \frac{U_{рТ.макс}}{I_{эл.макс}} = \frac{10}{2150} = 0.00465 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$$K_{от1} = \frac{K_T}{K_{дт}} = \frac{0.00465}{0.00392} = 1,186 \frac{\text{В}}{\text{А}}, \text{ - где коэффициент датчика тока } K_{дт} = 0.00392.$$

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{рТ} = T_{яц} = 0.058 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$K_{рТ} = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{K_{я} \cdot K_T \cdot a_T \cdot T_{\mu T}} = \frac{0.058 \cdot 0.035}{81 \cdot 0.00465 \cdot 2 \cdot 0.00167} = 1.62.$$

$$K_{от2} = \frac{K_{дт}}{K_{дт}} R_{дв.гор} = \frac{0.0283}{0.00392} \cdot 0,02 = 0,144 \frac{\text{В}}{\text{А}},$$

$$T_T = a_T T_{\mu} = 2 \cdot 0.00167 = 0.00333 \text{ с.}$$

2.6.2 Контур скорости

В качестве датчика скорости используем тахогенератор типа ПТ-22 со следующими параметрами:

$$U_H = 230\text{В}; n_{\Pi} = 1000\text{об/мин.}$$

Тогда коэффициент передачи тахогенератора составляет

$$\omega_{н.тг} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 104.7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Коэффициент обратной связи по скорости равен

$$k_c = k_{oc} \cdot k_{oc} = \frac{U_{зс.макс}}{\omega_{т.макс}} = \frac{10}{73.2} = 0.1366 \text{В} \cdot \text{с}$$

Примем $k_{тг} = k_{дс}$. тогда коэффициент обратной связи регулятора скорости равен

$$k_{oc} = \frac{k_c}{k_{тг}} = \frac{0.1366}{2.196} = 0.0622.$$

Для оптимизации контура скорости по структуре 36 примем

$$W(p)_T = \frac{1/K_T}{T_T p + 1}$$

Тогда для оптимизации контура скорости по МО выбираем ПИ-РС с коэффициентом усиления в первом приближении

$$k_{pc} = \frac{J_s / 2 \cdot k_m}{c \cdot k_c \cdot a_m \cdot (T_m \cdot T_{дв})} = \frac{312.5 / 2 \cdot 0.004651}{0.1366 \cdot 5.97 \cdot 2 \cdot (0.00333 + 0.018)} = 20.8$$

$$\text{Где } T_{дв} = \frac{L_{дв}}{R_{дв.гор}} = \frac{0.0003664}{0.02} = 0.018 \text{с-постоянная времени двигателя.}$$

Постоянная времени регулятора скорости равна

$$T_{pc} = 8T_{ц} = 8 \cdot 0.00167 = 0.01336 \text{с.}$$

2.6.3 Контур тока возбуждения

В качестве тиристорного преобразователя в цепи возбуждения двигателя используется встроенный тиристорный мост, включенный по схеме полупроводяемого двухполупериодного выпрямителя.

Для контура возбуждения приведём список параметров, необходимых для дальнейшего расчёта.

Линейное напряжение цепи возбуждения двигателя $U_{л.в.} = 380 \text{В}$;

Начальный угол управления тиристорного преобразователя цепи возбуждения $\alpha_{нач} = 130^\circ$

Минимальный угол управления тиристорного преобразователя цепи возбуждения $\alpha_{\min} = 20^\circ$

Индуктивность цепи основного потокосцепления найдём из формулы

$$L_\sigma = 2p \cdot W_\sigma \frac{\Phi_n - \Phi_{\min}}{I_{\sigma,n} - I_{\sigma,\min}} = 2 \cdot 3 \cdot 715 \cdot \frac{0,0725 - 0,052}{6,7 - 4,4} = 37,4881 \text{ Гн}$$

Где р-число пар полюсов обмотки якоря.

Тангенс угла наклона кривой намагничивания равен.

$$K_\phi = \frac{\Phi_n - \Phi_{\min}}{I_{\sigma,n} - I_{\sigma,\min}} = \frac{0,0725 - 0,052}{6,7 - 4,4} = 0,008913 \text{ Гн}$$

Магнитный поток рассеивания равен

$$\Phi_{s,n} = \Phi_n \cdot (\sigma - 1) = (1,18 - 1) \cdot 0,0725 = 0,013 \text{ Вб}$$

Индуктивность цепи потока рассеяния равна

$$T_\sigma = \frac{L_\sigma}{R_{\text{цв}}} = \frac{37,488}{24,702} = 1,518 \text{ с}$$

Постоянная времени основного потокосцепления равна

$$T_s = \frac{L_s}{R_{\text{цв}}} = \frac{8,192}{24,702} = 0,332 \text{ с}$$

Постоянная времени контура вихревых токов равна

$$T_k = 0,1 \cdot T_\sigma = 0,1 \cdot 1,518 = 0,1518 \text{ с}$$

Настройка контура тока возбуждения ведётся на модульный оптимум

Определим малую и большую постоянную времени обмотки возбуждения из выражений

$$T_3 = \frac{T_\sigma + T_s + T_k}{2} + \sqrt{\left(\frac{T_\sigma + T_s + T_k}{2}\right)^2 - T_s \cdot T_k}$$

$$T_3 = \frac{1,518 + 0,332 + 0,1518}{2} + \sqrt{\left(\frac{1,518 + 0,332 + 0,1518}{2}\right)^2 - 0,332 \cdot 0,1518} = 1,977 \text{ с}$$

$$T_4 = \frac{T_a + T_s + T_k}{2} - \sqrt{\left(\frac{T_a + T_s + T_k}{2}\right)^2 - T_s + T_k}$$

$$T_4 = \frac{1,518 + 0,332 + 0,1518}{2} - \sqrt{\left(\frac{1,518 + 0,332 + 0,1518}{2}\right)^2 - 0,332 \cdot 0,1518} = 0,0255c.$$

Определим постоянную времени цепи возбуждения

$$T_{ц.в.} = T_3 + T_4 = 1,977 + 0,0255 = 2,0025c.$$

Постоянная времени регулятора тока возбуждения равна постоянной времени цепи возбуждения

$$T_{рто} = T_{цв}$$

ЭДС тиристорного преобразователя цепи возбуждения равна

$$E_{ТПВ} = \frac{U_{я.в.}}{K_{U2.B}} = \frac{380}{1,11} = 342,34B$$

Коэффициент тиристорного преобразователя цепи возбуждения равен

$$K_{ТПВ} = \frac{E_{ТПВ} \cdot (\alpha_{нач.в} - \alpha_{мин.в})}{U_y \cdot \pi \cdot \frac{2}{3}} = \frac{342,34 \cdot (130 - 20)}{10 \cdot 180 \cdot \frac{2}{3}} = 31,38B$$

Постоянная времени тиристорного преобразователя цепи возбуждения равна

$$T_{мтв} = \frac{0,5}{m_{в.в.} \cdot f_c} = \frac{0,5}{2 \cdot 50} = 0,005c$$

где $m_{в.в.}$ - количество фаз питающей сети цепи обмотки возбуждения

Коэффициент обратной связи регулятора тока цепи возбуждения равен

$$K_{отв} = \frac{U_y}{I_{сн}} = \frac{10}{6,7} = 1,493 \frac{B}{A}$$

Коэффициент датчика тока возбуждения равен

$$K_{дтв} = \frac{U_y}{I_{нр.л}} = \frac{10}{10} = 1 \frac{B}{A}$$

где $I_{нр.л}$ - номинальный ток тиристорного преобразователя цепи возбуждения.

Некомпенсируемая малая постоянная времени цепи обмотки

возбуждения равна.

$$T_{\text{иттв}} = T_{\text{итв}} + T_4 + \sum \tau = 0.005 + 0.0255 = 0.0305\text{c}$$

Коэффициент передачи цепи обратной связи контура тока возбуждения равен

$$\kappa_{\text{дтв}} = \kappa_{\text{отв}} \cdot \kappa_{\text{дтв}} = 1,493 \cdot 1 = 1,493 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

Определим коэффициент усиления регулятора тока возбуждения

$$\kappa_{\text{птв}} = \frac{T_{\text{птв}} \cdot R_{\text{н.в}}}{\kappa_{\text{итв}} \cdot \kappa_{\text{тв}} \cdot a_{\text{тв}} \cdot T_{\text{иттв}}} = \frac{2,001 \cdot 24,702}{18,168 \cdot 1,493 \cdot 0,0305} = 17,29$$

2.6.4 Контур ЭДС цепи возбуждения двигателя

Структурная схема контура ЭДС в первом приближении может быть представлена в виде схемы, приведенной на рисунке 24, где обозначено

$$W_{\text{м.у.замк}}(p) = \frac{(1/k_m) \cdot (T_k p + 1)}{a_{\text{ме}} T_{\text{яме}}^2 p^2 + a_{\text{ме}} T_{\text{яме}} p + 1}$$

- передаточная функция оптимизированного замкнутого по управлению контура тока возбуждения двигателя.

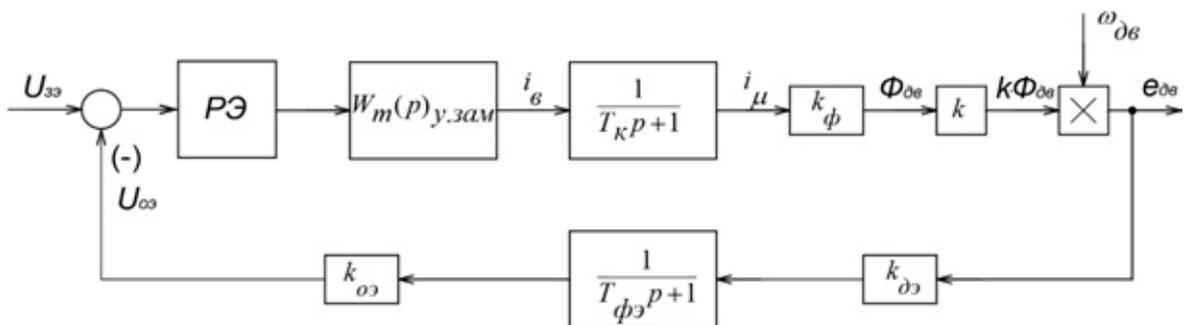


Рисунок 24 - Структурная схема контура ЭДС двигателя

После преобразования структурная схема примет вид, приведенный на рисунке 25.

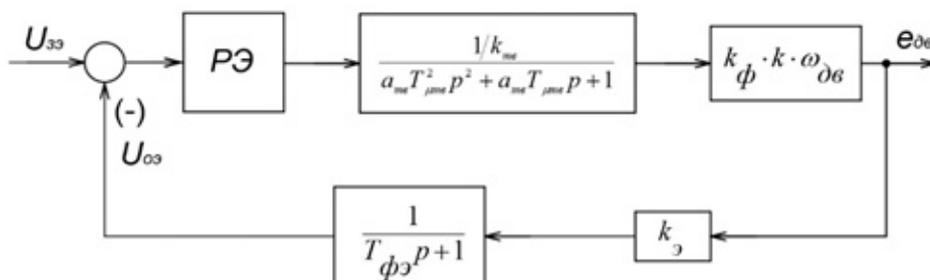


Рисунок 25. - Структурная схема контура ЭДС двигателя после преобразования

Коэффициент датчика напряжения равен

$$K_{дн} = \frac{U_y}{U_{нр.н}} = \frac{10}{420} = 0,0238 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

Постоянная времени фильтра в цепи обратной связи по ЭДС равна

$$T_{ф.н.} = T_{дв} = 0,018 \text{ с.}$$

Найдём тангенс угла наклона кривой намагничивания цепи обмотки возбуждения

$$K_{ф.н.} = \frac{\Phi_{н.}}{I_{с.н.}} = \frac{0,0725}{6,7} = 0,0108 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

$$T_{тэ} = 2 \cdot T_{мэ} = 2 \cdot 0,0305 = 0,061 \text{ с.}$$

Найдём коэффициент передачи потока возбуждения

$$K = \frac{C_{н.}}{\Phi_{н.}} = \frac{5,97}{0,0725} = 82,34 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

Для определения коэффициента усиления регулятора тока возбуждения необходимо найти коэффициент обратной связи по ЭДС.

Тогда коэффициент обратной связи по ЭДС равен

$$K_{\text{ДЗ}} = \frac{U_{\text{эр.макс}}}{E_{\text{дв.макс}}} = \frac{10}{312.572} = 0.032,$$

$$K_{\text{з}} = \frac{U_{\text{э.н}}}{E_{\text{дв.н}}} = \frac{10}{312.572} = 0.032,$$

$$K_{\text{оо}} = \frac{K_{\text{з}}}{K_{\text{ДЗ}}} = \frac{0,032}{0,032} = 1$$

тогда коэффициент усиления регулятора ЭДС контура возбуждения в первом приближении равен

$$K_{\text{рз}} = \frac{K_{\text{ТВ}}}{K_{\text{ф}} \cdot K \cdot \omega_{\text{осл}} \cdot a_{\text{з}} \cdot T_{\text{тз}}} = \frac{1,493}{0.0108 \cdot 82.34 \cdot 73,2 \cdot 2 \cdot 0.061} = 0,1887$$

Построение ЛЧХ замкнутого контура ЭДС САУ РЭП

Передаточная функция разомкнутого контура скорости оптимизированной двухконтурной САУ электропривода имеет вид

$$W_{\text{с.раз}}(p) = \frac{(T_{\text{рс}} \cdot p + 1)}{(b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T^2 \cdot p^2 \cdot (T_T \cdot p + 1))} = \frac{(0.0132 + 1)}{(2.93 \cdot 10^{-7} \cdot p + 8.8 \cdot 10^{-5} \cdot p^2)}$$

Передаточная функция по возмущению замкнутого контура ЭДС оптимизированной двухконтурной САУ электропривода имеет вид

$$W_{\text{с.зам.возм}}(p) = \frac{\frac{c}{J_{\text{з}}} \cdot b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T^2 \cdot p \cdot (T_T \cdot p + 1)}{(b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T^2 \cdot p^2 \cdot (T_T \cdot p + 1) + (T_{\text{рс}} \cdot p + 1))} = \frac{\frac{5,97}{312,5} \cdot 2 \cdot 2^2 \cdot 0,0033^2 \cdot p \cdot (0,0033 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,0033^2 \cdot p^2 \cdot (0,0033 \cdot p + 1) + (0,00132 \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{5.59 \cdot 10^{-9} \cdot p^3 \cdot 1.69 \cdot 10^{-6} \cdot p^2}{2.87 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8.71 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0.0132 \cdot p + 1}$$

Передаточная функция по управлению замкнутого контура ЭДС оптимизированной двухконтурной САУ электропривода без фильтра на входе имеет вид

$$\begin{aligned}
 W_{с.зам.б.фильтра}(p) &= \frac{\frac{1}{K_C} \cdot (T_{pc} \cdot p + 1)}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T^2 \cdot p^2 \cdot (T_T \cdot p + 1) + (T_{pc} \cdot p + 1)} \\
 &= \frac{\frac{1}{0,032} \cdot (0,0132 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,00333^2 \cdot p^2 \cdot (0,0033 \cdot p + 1) + (0,00132 \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{0,425 \cdot p + 1}{2,87 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8,71 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,0132 \cdot p + 1}
 \end{aligned}$$

Ожидаемые логарифмические частотные характеристики двухконтурной САУ электропривода (программа MatLab) приведены на рисунках 13 -15.

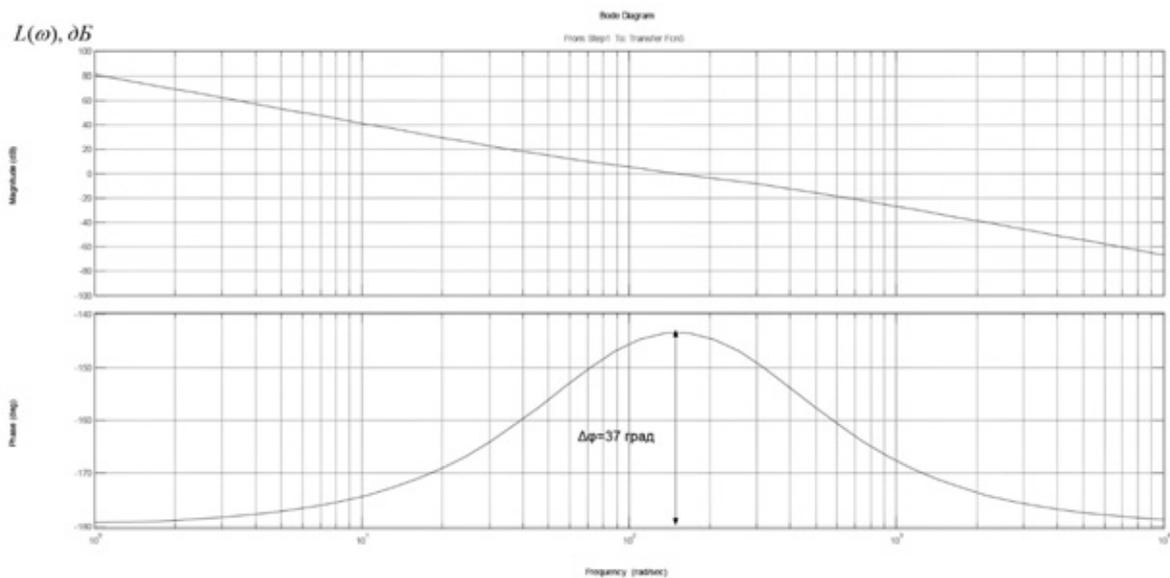


Рисунок 13 - Логарифмические амплитудно-частотные характеристики разомкнутого контура скорости.

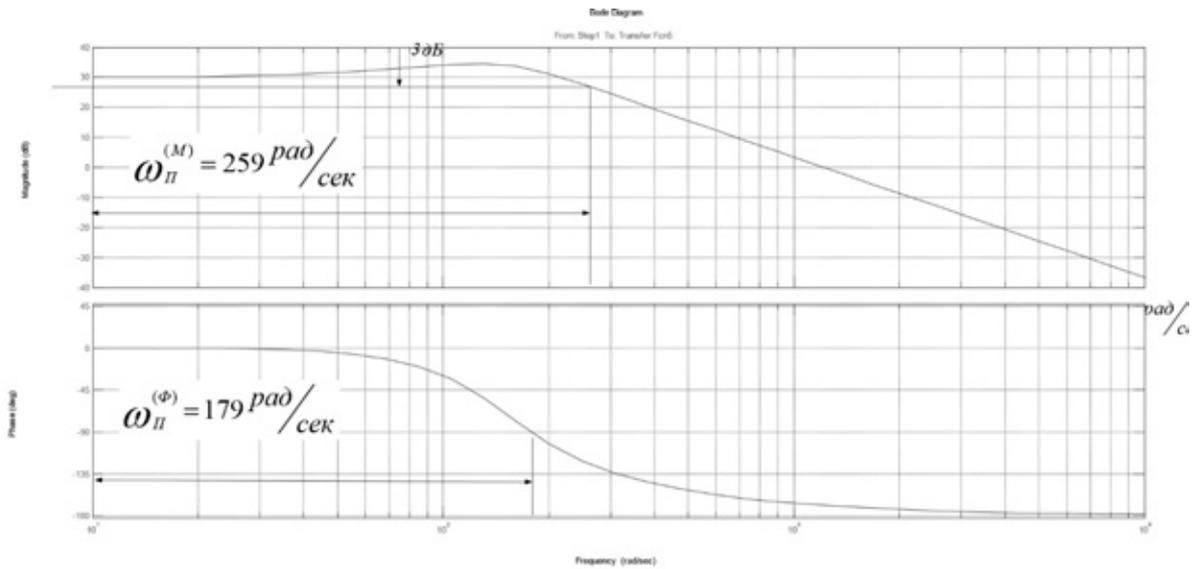


Рисунок 14 - Логарифмические амплитудно-частотные характеристик замкнутого контура скорости без фильтра.

По ЛЧХ замкнутого контура скорости без фильтра находим значения частоты пропускания контура

$$f_n^{(M)} = \frac{\omega_n^{(M)}}{2\pi} = \frac{259}{2\pi} = 41,2 \text{ Гц}.$$

$$f_n^{(\Phi)} = \frac{\omega_n^{(\Phi)}}{2\pi} = \frac{179}{2\pi} = 28,49 \text{ Гц}.$$

Из построенных ЛАЧХ и ЛФЧХ видим, что привод имеет достаточный запас устойчивости по модулю и по фазе.

2.7 Нелинейная САУ РЭП

2.7.1 Анализ основных нелинейностей электропривода

Основными нелинейностями двухзонного тиристорного электропривода являются:

- насыщение всех регуляторов, выходное напряжение которых ограничено на уровне $(11\div 12)V$ при напряжении источников питания операционных усилителей $\pm 15V$. Принимаем при моделировании $U_{рег.макс} = \pm 10V$;

- ограничение углов управления тиристорных преобразователей, при моделировании это учитывается ограничением выходной ЭДС преобразователя

- ограничение тока якорной цепи, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора скорости

- реактивный характер момента нагрузки, который определяется выражением $M_c(\omega) = M_c \cdot \text{sign} \omega$;

- нелинейная зависимость потока двигателя от тока возбуждения, которая определяется кривой намагничивания двигателя;

- специфические свойства тиристорного преобразователя, которое проявляется в дискретности управления, односторонней проводимости, нелинейности регулировочных характеристик. Указанные свойства будут играть существенную роль при управлении двигателем со стороны якоря и малосущественную – при управлении со стороны обмотки возбуждения двигателя. Здесь важным является то, как эффективно гасятся поле двигателя в зоне ослабления поля возбуждения.

2.7.2 Структурная схема нелинейной САУ ЭП

Полная структурная схема двухзонного электропривода клетки приведена на рисунке 26.

Электропривод имеет две системы автоматического управления: САР скорости с ПИ-РС и ПИ-РТЯ и САР напряжения двигателя с П-РЭ и ПИ-РТВ.

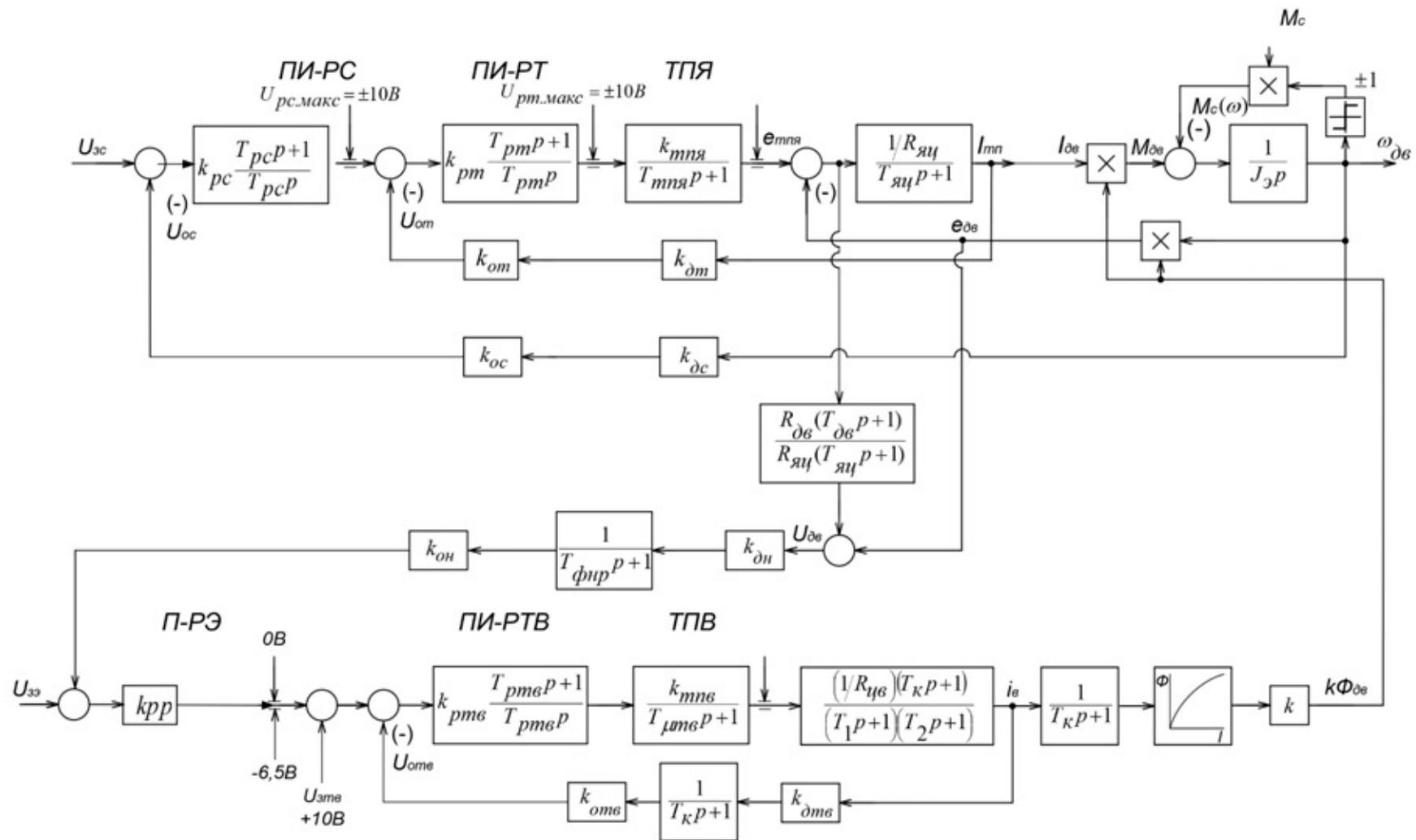


Рисунок 26 – Структурная схема САУ ЭП

2.7.3 Исследование электропривода на имитационных моделях

Исследования электропривода при работе в двух зонах регулирования реализовано

Расчет переходных процессов в системах регулируемого двухзонного электропривода постоянного тока нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный, выполненного по структурной многоконтурной схеме последовательной коррекцией, выполняется методом имитационного моделирования с помощью программы Matlab. Программа воспроизводит методом имитационного численного моделирования переходных процессов аналоговых нелинейных системах регулируемого электропривода при типовых задающих и возмущающих воздействиях. Она позволяет в широких пределах варьировать структуру и значения параметров элементов САУ выводить результаты расчетов в виде графиков, по которым определяются динамические качества.

Схема модели двухзонного электропривода представлена на рисунке 27.

Переходные процессы нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный представлены на рисунках 28-32.

Переходные процессы рассчитываются и строятся при помощи программы Матлаб.

Структурная схема набора модели приведены на рисунке 2

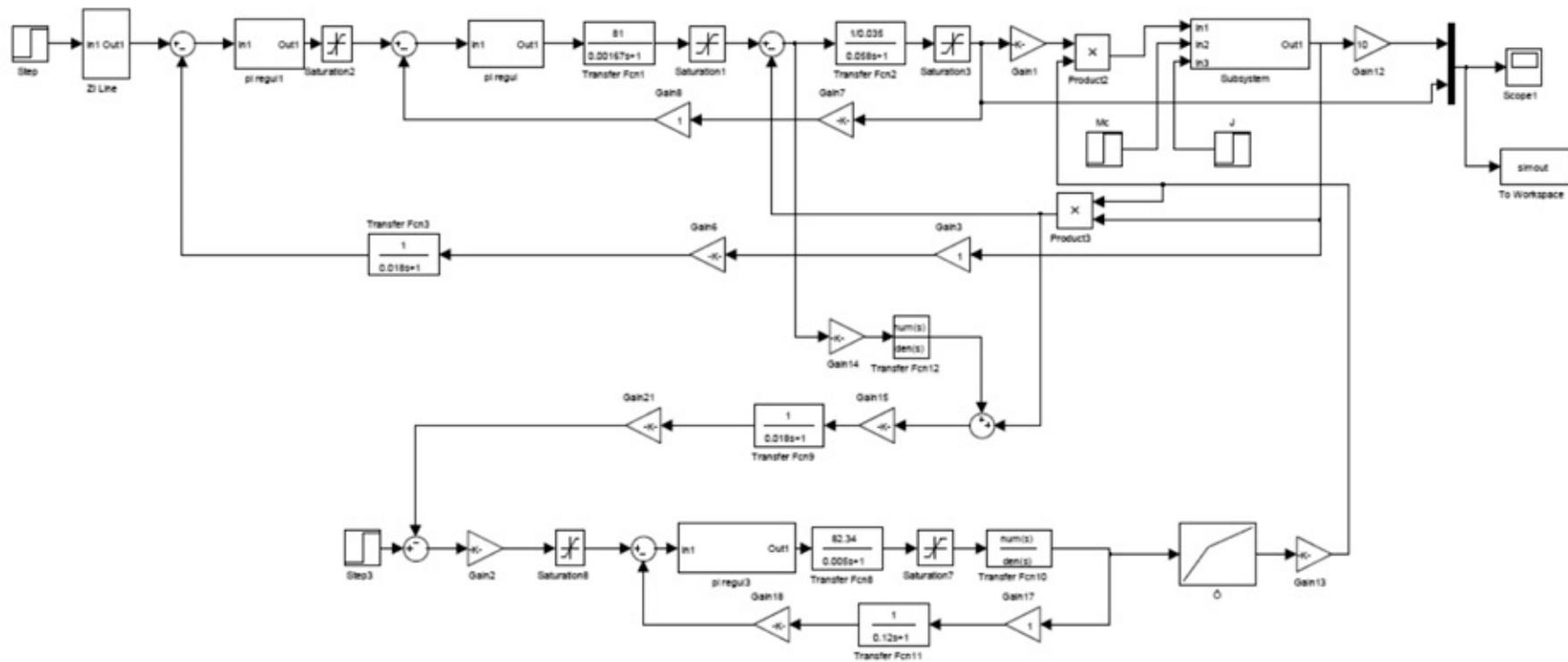


Рисунок 27 – Схема набора модели в программе Matlab.

В данной выпускной квалификационной работе электропривод главного скипового подъёма доменной печи представлен одностепенной системой. При построении переходных процессов на единичное воздействие был задан начальный момент, равный стартовому статическому моменты при движении скипа с коксом.

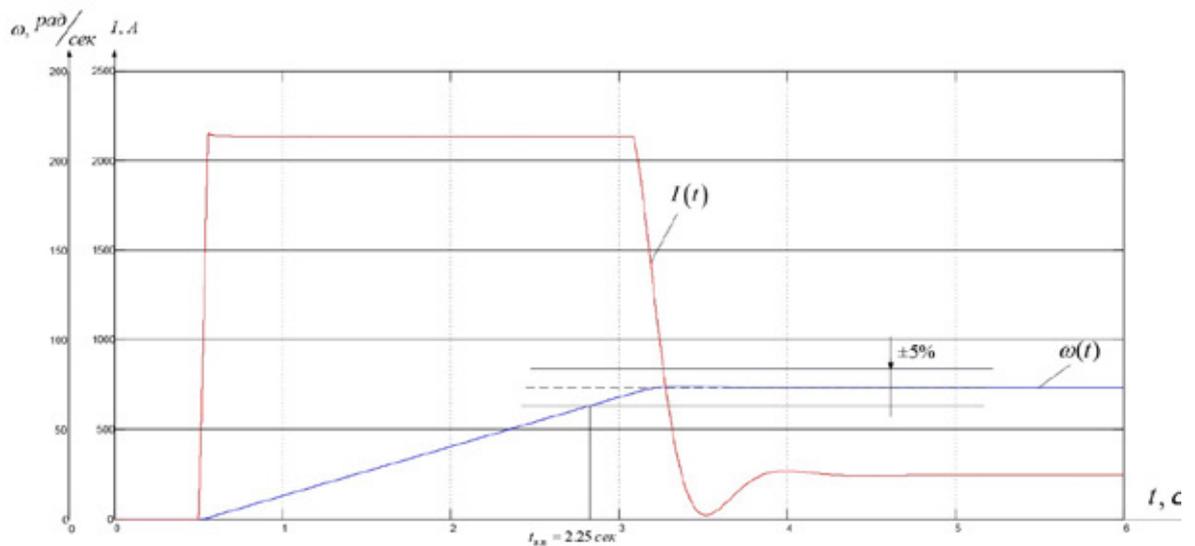


Рисунок 19 - Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 10В. $M_c = 1453 \text{ Н*м}$, $I_{баз} = 2150 \text{ А}$, $\omega_{баз} = 73,2 \text{ рад/с}$.

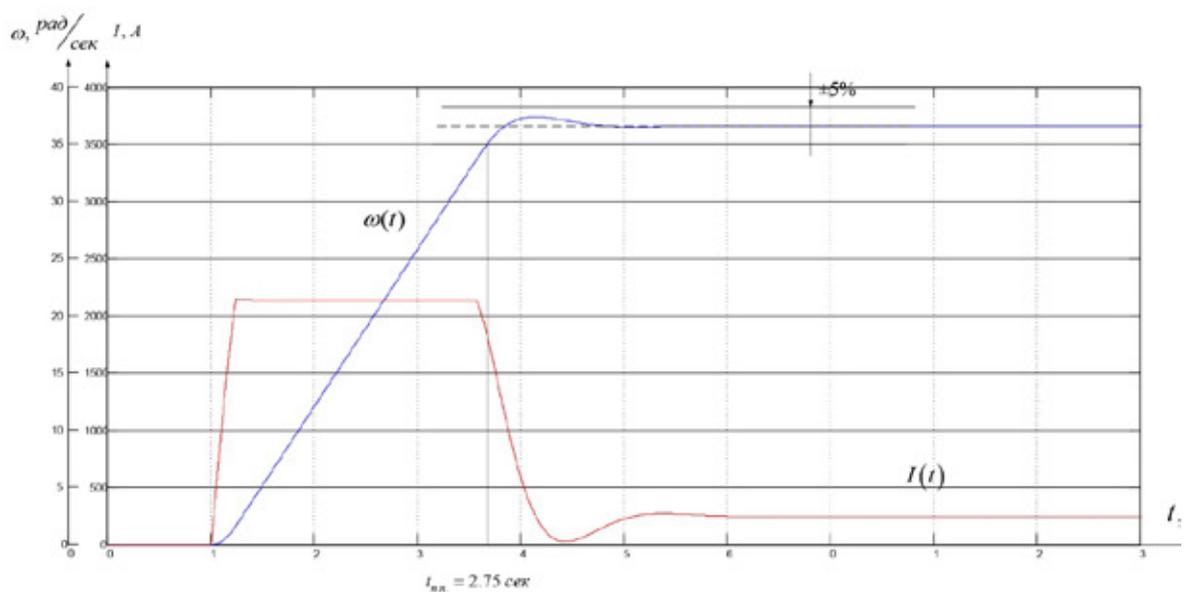


Рисунок 18 - Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 5В. $M_c = 1453 \text{ Н*м}$, $I_{баз} = 2150 \text{ А}$, $\omega_{баз} = 36,6 \text{ рад/с}$.

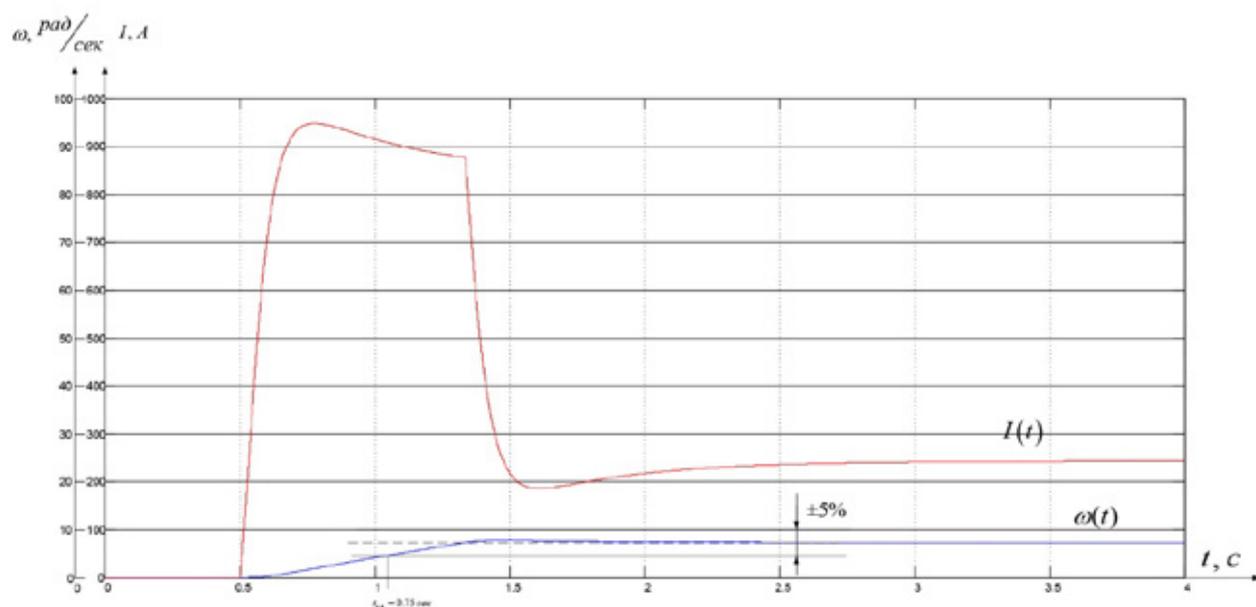


Рисунок 17 - Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 1В. $M_c = 1453 \text{ Н*м}$, $I_{\text{баз}} = 750 \text{ А}$, $\omega_{\text{баз}} = 7.32 \text{ рад/с}$.

Из графиков переходных процессов видим, что перерегулирование основной координаты при единичном воздействии при различных уровнях задания равно 0, что обеспечивается введением фильтра на входе системы. Время переходного процесса при максимальном единичном воздействии составляет 2 сек., что удовлетворяет требованиям данного класса систем.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студент:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Усаров Эльдор Рахматуллаевич

Институт	Энергетический	Кафедра	Электропривода и электрооборудования
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат технического проекта: на материальные затраты, зарплаты, страховые отчисления и накладные расходы	В техническом проекте были задействованы 2 человека (руководитель, бакалавр). Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г.Томску. Заработная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. Продолжительность выполнения	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирования графика работ по реализации технического проекта	Для составления графика по проектированию цепного конвейера однопоточного лесопильного цеха используется оценка трудоёмкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график Ганта, позволяющий лучше спланировать процесс реализации технического проекта. Матрица SWOT.
2. Формирование сметы технического проекта	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: <i>материальные затраты;</i> <i>полная заработная плата исполнителей;</i> <i>отчисления во внебюджетные фонды;</i> <i>накладные расходы.</i>
3. Ресурсоэффективность технического проекта	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Усаров Эльдор Рахматуллаевич		

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В условиях конкурентной борьбы производство немислимо без ресурсосбережения, своевременной замены и модернизации средств труда, лучшего использования материальных, трудовых и финансовых ресурсов, повышения качества продукции, внедрения новых разработок. Особую актуальность проблемы ресурсоэффективности и ресурсосбережения, представляет для машиностроения в силу его особого положения в экономике страны. Таким образом, целью раздела является определение перспективности и успешности проектно-конструкторского проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;
- планирование и формирование графика работ по реализации ТП;
- формирование сметы.

3.1 Оценка потенциала и перспективности реализации ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1 SWOT-анализ привода перемещения индуктора вертикально закалочного станка

Задача анализа – дать структурированное описание ситуации, относительно которой нужно принять какое-либо решение. Для проведения SWOT-анализа составляется таблица, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы. Методика анализа приведена в [13].

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения: С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта; В – возможности; У – угрозы.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, которые позволят оценить эффективность проекта, а также актуальность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения: «+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.

Таблица 4 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>C1. Высокая надежность системы электроснабжения.</p> <p>C2. Качественные материалы</p> <p>C3. Квалифицированный персонал.</p> <p>C4. Повышение безопасности обслуживающего персонала.</p> <p>C5. Организация непрерывной подачи и качество эл. энергии.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Потери в электрических сетях.</p> <p>Сл2. Уникальность оборудования.</p> <p>Сл3. Высокая стоимость оборудования.</p> <p>Сл4. Несвоевременные сроки поставки комплектующих.</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Эффективное использование энергоблоков станка.</p> <p>V2. Снижение себестоимости путем внедрения инновационных технологий.</p> <p>V3. Применение альтернативных источников электроснабжение.</p> <p>V4. Увеличение стоимости конкурентных систем.</p>	<p>V1C1C2C3C4; Эффективное использование энергоблоков станка. Высокая надежность системы электроснабжения.</p> <p>Качественные материалы</p> <p>Квалифицированный персонал.</p> <p>Повышение безопасности е энергоблоков станка.</p> <p>V2C1C2C4; Снижение себестоимости путем внедрения инновационных технологий. Высокая надежность системы электроснабжения.</p> <p>Качественные материалы</p>	<p>V1Сл1Сл2; Эффективное использование энергоблоков станка. Потери в электрических сетях.</p> <p>Уникальность оборудования.</p> <p>V2Сл2; . Снижение себестоимости путем внедрения инновационных технологий. Уникальность оборудования.</p>

	<p>V3C1C3C5; .Применение альтернативных источников электроснабжение. . Высокая надежность системы электроснабжения.</p> <p>Квалифицированный персонал. . Организация беспереывной подачи и качество эл. энергии.</p> <p>V4C1C2C5; Увеличение стоимости конкурентных систем. . Высокая надежность системы электроснабжения.</p> <p>Качественные материалы. . Организация беспереывной подачи и качество эл. энергии.</p>	<p>V4Cл2; . Увеличение стоимости конкурентных систем. . Уникальность оборудования.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Превышение допустимых пределов использования электрических сетей.</p> <p>У2. Ухудшение отношений с поставщиками</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции.</p> <p>У4. Прекращение финансирования от государства.</p>	<p>У1C1C5; . Превышение допустимых пределов использования электрических сетей. Высокая надежность системы электроснабжения.</p> <p>Организация беспереывной подачи и качество эл. энергии.</p>	<p>У1Cл1Cл3; Превышение допустимых пределов использования электрических сетей.</p> <p>Потери в электрических сетях. . Высокая стоимость оборудования.</p>

	<p>У2С1; Ухудшение отношений с поставщиками. Высокая надежность системы электроснабжения.</p> <p>У3С1; Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции. . Высокая надежность системы электроснабжения.</p> <p>У4С1С2; . Прекращение финансирования от государства. Высокая надежность системы электроснабжения. Качественные материалы</p>	<p>У4Сл2; Прекращение финансирования от государства. Уникальность оборудования.</p>
--	---	---

Интерактивные матрицы, возможностей и угроз приведены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей

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

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз

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

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 5 и 6, показывает, различные стороны проекта. Самой сильной стороной проекта является квалифицированный персонал, так как от квалифицированного персонала зависит качество технологического процесса, а слабой стороной, уникальность оборудования, поскольку в процессе подготовки и проведения ремонтных работ очень сложно найти необходимые комплектующие. Кроме того анализ показывает наличие угроз, которые возможно будет устранить в будущем и возможности позволяющие повысить конкурентоспособность.

3.2 Планирование и формирование графика работ по реализации ТП

Планирование комплекса работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проекта;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика выполнения работ

Важной частью данного проекта является составление графика проведения работ ТП, который предназначен для распределения обязанностей по выполнению работ и определения временных рамок производимой работы.

Весь комплекс работ разобьем на 10 этапов, а осуществит его группа из 2-х человек.

1 – Составление технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания на работу;

2 – Изучение технической литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

3 – Сбор необходимых данных по проекту – сбор номинальных параметров трансформаторов, двигателей, графиков нагрузок, режимов работы оборудования;

4 – Ввод данных в среду разработки MATLAB – составление алгоритмов, блок-схем, систем уравнений для математического моделирования работы электропривода перемещения индуктора вертикально закалочного станка;

5 – Расчет в среде MATLAB нагрузок привода – использование пакета программ со встроенными математическими функциями, которые позволяют исследовать различные подходы и получать решение быстрее, чем с использованием электронных таблиц или традиционных языков программирования;

6 – Выбор электрооборудования – подбор элементов осуществляется по результатам расчетов с учетом стандартно выпускаемого оборудования и основными требованиями технологического процесса;

7 – Расчет элементов электропривода – расчет характеристик электропривода и двигателя, построение графиков режимов работы оборудования;

8 – Проверка выбора электрооборудования – правильный выбор электрооборудования необходимое условие его успешной эксплуатации. При проектировании электрооборудование выбирают, исходя из требований его качественного функционирования и наименьших затрат на электрифицированный объект;

9 – Оформление расчётно-пояснительной записки – руководитель дипломного проекта осуществляет теоретическую и практическую помощь

студенту в период подготовки ВКР, дает студенту рекомендации по структуре, содержанию и оформлению работы, подбору литературных источников и т. д. Кроме того, руководитель указывает на недостатки аргументации, композиции, стиля и т.п., советует, как их устранить. Рецензирование и размещение готовой работы в web среде ТПУ.

10 – Сдача проекта – включает в себя, составление презентации, сдачу междисциплинарного экзамена, подготовку к защите и защиту проекта.

3.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости исполнителей $t_{ожі}$ используется следующая формула: [14].

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

По результатам расчетов составляется календарная продолжительность выполнения работ представленная в таблице 8.

Для составления графика выполнения работ используется диаграмма Ганта, которая приведена в таблице 9.

Таблица 8 – Календарная продолжительность работ

Этап работы	Вид работ	Руководитель			Дипломник		
		Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{\min} , чел.-дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{\max} , чел.-дн.	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, $t_{\text{ож}}$, чел.-дн.	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{\min} , чел.-дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{\max} , чел.-дн.	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, $t_{\text{ож}}$, чел.-дн.
1	Составление технического задания	1	1	1	-	-	-
2	Изучение технической литературы	-	-	-	20	25	22
3	Сбор необходимых данных по проекту	-	-	-	14	18	16
4	Ввод данных в среду разработки MATLAB	1	1	1	1	2	1
5	Расчет в среде MATLAB нагрузок привода	1	1	1	1	2	1
6	Выбор электрооборудования	-	-	-	14	16	15
7	Расчет элементов электропривода	1	1	1	1	2	1
8	Проверка выбора электрооборудования	1	1	1	11	14	12
9	Оформление расчётно-пояснительной записки	-	-	-	13	20	16
10	Сдача проекта	1	1	1	4	8	6

Таблица 9 – Диаграмма Ганта

Этап работы	Вид работ	Исполнители *	Продолжительность одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ по декадам											
				Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Составление технического задания	Р	1	-											
2	Изучение технической литературы	Д	22		—————										
3	Сбор необходимых данных по проекту	Д	16				—————								
4	Ввод данных в среду разработки MATLAB	Д	1						-						
		Р	1						-						
5	Расчет в среде MATLAB нагрузок привода	Д	1						-						
		Р	1						-						
6	Выбор электрооборудования	Д	15						—————						
7	Расчет элементов электропривода	Д	1							-					
		Р	1							-					
8	Проверка выбора электрооборудования	Д	12							—————					
		Р	1								-				
9	Оформление расчётно-пояснительной записки	Д	16								—————				
10	Сдача проекта	Д	6										—————		
		Р	1												-

* - условное обозначение исполнителей: Р – руководитель; Д – дипломник.

По составленной диаграмме, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с третьей декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, фактическая продолжительность выполнения работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и больше (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Период выполнения проекта составит 94 рабочих дня. Из них:
93 дня – продолжительность выполнения работ дипломником;
6 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

3.3 Составление сметы технического проекта

При планировании затрат технического проекта должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [14]. В процессе формирования сметы используется группировка затрат по следующим статьям:

- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.3.1 Полная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (1)$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \times T_p, \quad (2)$$

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

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

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

(таблица 15.4).

Среднедневная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}}, \quad (3)$$

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

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

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.(тридцать процентов);

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад, руб.	Доплаты и надбавки, руб.	Районный коэффициент, руб.	Зарплата месячная, руб.	Среднедневная заработная плата в день, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	16751	2000	5625	24376	937	6	5625
Дипломник	7864	-	2359	10223	393	93	36549
Итого							42174

Дополнительная заработная плата составляет 12-15 процентов от основной. Расчет полной заработной платы приведен в таблице 11.

Таблица 11. – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент, учитывающий заработную плату	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полной заработной платы, руб.
Руководитель	0,15	5625	875	6500
Дипломник	0,12	36549	4451	41000
Итого		42174	5326	47000

3.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4)$$

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

$k_{\text{внеб}} = 27,1$ процентов в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0.271 \times 47000 = 12,7 \text{ т тыс.р.}$$

3.3.3 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Величина накладных расходов составляет 16 процентов в условиях ТПУ.

Рассчитанная величина затрат является основой для формирования сметы проекта.

Смета затрат на технический проект приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	47,5	64,6
2. Отчисления во внебюджетные фонды	12,7	19,4
3. Накладные расходы	11,7	16,0
Итого	71,9	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 12, можно сделать вывод, что затраты на реализацию технического проекта, составят 71,9 тыс. руб.

3.3.3 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности [5] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i \quad (5)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию привода перемещения индуктора вертикально закалочного станка следует рассмотреть следующие критерии:

- надежность электроснабжения – способность системы электроснабжения, в составе которой работают энергопринимающие установки потребителей, при определенных условиях обеспечить им поставку электрической энергии в соответствии с заявленными требованиями.

- материалоемкость – показатель расхода материальных ресурсов на производство продукции. Выражается в натуральных единицах расхода сырья, материалов, топлива и энергии, необходимых для изготовления единицы продукции.

- помехоустойчивость – это способность сигнала противостоять действию помех (т.е. сохранять содержащуюся в нём информацию, несмотря на действие помех).

- Возможность подключения сети Ethernet – это наиболее распространённая технология организации локальных сетей. Стандарты Ethernet описывают реализацию двух первых уровней передачи информации – проводные соединения и электрические сигналы (физический уровень), а так же форматы блоков данных и протоколы управления доступом к сети (канальный уровень).

- Безопасность – состояние защищённости жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и их последствий.

Оценка критериев ресурсоэффективности проекта приведена в таблице 7. Таблица 7 – Оценка критериев ресурсоэффективности проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,20	5
2. Энергосбережение	0,20	5

3. Материалоемкость	0,10	4
4. Помехоустойчивость	0,15	5
5. Возможность подключения сети Ethernet	0,10	4
6. Безопасность	0,25	5
Итого:	1,00	

По составленной таблице 7 определяем интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{PI} = 5 \times 0.2 + 5 \times 0.2 + 4 \times 0.10 + 5 \times 0.15 + 4 \times 0.10 + 5 \times 0.25 = 4.80$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение 4,80 (по 5-балльной шкале). Высокие баллы надежности и безопасности, а так же энергосбережения позволяют судить о надежности системы.

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

- при проведении SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технологического производства.
- при планировании конструкторских работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально организовать работу исполнителей.
- сформирована смета на выполнение проекта, по которой затраты составили 71,9 тыс.руб.
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дало высокий результат(4,80 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Усаров Эльдор Рахматуллаевич

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, запыленность)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической,)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу)
чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)
чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды;

Основными вредными факторами являются:
Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций);
Шум и вибрация;
Отклонение показателей микроклимата;
Недостаточная освещенность рабочей зоны.
Микроклимат
Электромагнитные поля

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды;

Опасными факторами являются:
Механические.
Термические.
Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

3. Охрана окружающей среды:

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

4. Защита в чрезвычайных ситуациях:

- перечень возможных ЧС на объекте;
- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;

разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

Перечень графического материала:

План эвакуации при пожаре

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Сечин Андрей Александрович	кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Усаров Эльдор Рахматуллаевич		

4. Социальная ответственность

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается электропривод скиповой лебёдки доменной печи на основе преобразователя типа Simoreg K 6RA24.

Скиповая лебёдка С 1-22,5-210 служит для подъема скипов с шихтой на колошник доменной печи объемом 2000м .

Электропривод работает при номинальном постоянном выпрямленном токе до 1700А и номинальном выпрямленном напряжении 420В. Питание силовых цепей осуществляется от общей энергосети доменного цеха напряжением ЮкВ через понижающий трансформатор типа ТСЗП 630/10УЗ от вторичной обмотки напряжением 313В, а цепей управления от сети 380В и частотой переменного тока 50Гц. Качество питания соответствует [1]. Работа лебедки скипов полностью автоматизирована.

4.1 Анализ опасных и вредных факторов при выполнении работ

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

В доменном цехе работают электропривода большой мощности, которые работают на напряжении 220-440В и токе до 2000А. Поэтому они являются источниками повышенной опасности. При отсутствии заземления, повреждении изоляции силовых кабелей повышается вероятность электротравматизма.

Работы выполняемые в доменных цехах (ремонт и обслуживание электрооборудования), относятся к физическим работам средней тяжести с энергозатратами 172-293Дж/с(150-250ккал/ч). В процессе их выполнения

можно выделить следующие группы опасных и вредных факторов производственной опасности.

К опасной группе факторов относится поражение электрическим током при производстве пуско-наладочных работ электропривода.

Механические травмы в результате воздействия:

Незащищенные подвижные элементы производственного оборудования;

Отлетающие частицы обрабатываемого материала и инструмента;

Тепловые ожоги при производстве электромонтажных работ, связанных со сваркой или пайкой;

При проведении тех же работ возможны следующие вредные факторы:

Запыленность и загазованность рабочей зоны;

Повышенные уровни шума, вибрации и различных излучений;

Повышенная напряженность труда;

Недостаточная освещенность рабочего места.

Значительные отклонения параметров микроклимата от нормируемых значений.

Электробезопасность на производстве обеспечивается соответствующей конструкцией электроустановок, применением технических способов и средств защиты, организационными и техническими мероприятиями.

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

Факторы электрического характера. Сила тока является основным фактором, обуславливающим степень поражения человека, и в зависимости от этого установлены категории воздействия: пороговый ощутимый ток, пороговый не отпускающий ток и пороговый фибрилляционный ток.

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и силы токов выше отпускающих установлены для путей тока от одной руки к другой

и от руки к ногам. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения представлены в таблице 13.

Таблица 13- Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения.

Ток	Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни, не более, при длительном воздействии тока, с.						
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1	>1
Переменный (50 Гц)	U, В	500	165	100	70	55	50	36
	I, мА	500	165	100	70	55	50	6
Постоянный	U, В	500	350	250	230	210	200	40
	I, мА	500	350	250	230	210	200	15

Вредные:

- выделение вредных газов (угарный газ, и др.), паров и графитовой пыли при выплавке чугуна;

- вибрация при работе электроприводов большой мощности, при работе мостовых кранов и железнодорожного транспорта (тепловозы, электротолкатели и т.д.);

шум при работе механизмов большой мощности связанных технологическим процессом, а также при работе центральной вытяжной станции (ЦВС), центральной воздухозаборной станции (ЦВЗ), при работе воздухонагревателей и т.д.

Источниками шума и вибрации в цехе является так же оборудование, размещенное в машинном зале: скиповая лебёдка, а так же лебедка управления конусами и двигатели, приводимые их в движение.

4.2 Техника безопасности

Техника безопасности при монтаже и наладке электрооборудования доменного цеха соответствует [4] и Правилам устройств электроустановок (ПУЭ-85)[4].

Важную роль в обеспечении безопасности труда для электротехнического персонала играют электротехнические средства защиты и предохранительные приспособления.

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции применяется: заземление.

Для заземления электроустановок в первую очередь используются естественные заземлители.

Для заземления электроустановок различных назначений и различных напряжений, территориально приближенных одна к другой, применяется одно общее заземляющее устройство.

Для объединения заземляющих устройств различных электроустановок в одно общее заземляющее устройство используют все имеющиеся в наличии естественные, в особенности протяженные, заземляющие проводники.

Заземляющее устройство, используемое для заземления электроустановок одного или различных назначений и напряжений, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к заземлению этих электроустановок, защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции, условиям режимов работы сетей, защиты электрооборудования от перенапряжения и т. д.

Средства индивидуальной защиты: каски, защитные очки, шлема, сапоги, ботинки, рукавицы, защитные наушники, вкладыши, спецодежда.

4.3 Производственная санитария.

Вибрация

Исходя из требований [16] на оператора воздействует транспортно-технологическая вибрация категории 2. В таблице 14 приведены санитарные нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки для длительности смены 8ч.

Таблица 14 — Санитарные нормы одночисловых показателей вибронагрузки

Вид вибрации	Категория	Виброускорения		Виброскорости	
		м/с ²	дБ	м/с	дБ
Общая	2	0,25	109	0,56	101

В таблице 14 приведены санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки категории 2 на оператора, которые соответствуют стандарту.

Таблица 14 - Санитарные нормы спектральных показателей вибронагрузки

Среднегеометрическая частота, Гц	Виброускорения		Виброскорости	
	м/с ²	дБ	м/с'	дБ
2	0.4	112	3.5	117
8	0.3	110	0.63	102
16	0.57	115	0.56	108
31,5	1.13	121	0.56	101
63	2.25	127	0.56	101

Разработка мероприятий по снижению производственных вибраций означает анализ уровней, описывающих колебания машин и агрегатов в

условиях производства.

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

Шум

Шум является одним из наиболее распространенных в производстве вредным фактором, который создается внутренними источниками: техническими средствами, устройствами кондиционирования воздуха преобразователями напряжения, другим оборудованием, а так же шумом, проникающим в помещение извне.

По [17] предусматривается обеспечение благоприятных условий труда, повышение его производительности, предупреждение нарушения слуха и гипертонической болезни. В таблице 15 приведены уровни звукового давления на рабочем месте.

Таблица 15- Уровни звукового давления

Вид трудовой деятельности на рабочем месте	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Работа, выполняемая с частотными указанными и акустическими сигналами	96	83	74	68	63	60	67	55	54	65

Защита от шума: наушники, вкладыши, шлемы.

Микроклимат

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, пар, избыточное тепло и влага. В соответствии с [18] площадь на одного человека в помещении должна быть не менее 4.5м² и объемом не менее 15м³.

Воздухообмен должен составлять не менее 20м³/ч. Метеорологические условия для рабочей зоны устанавливаются в соответствии с [19]. Работы, проводимые в помещении, относятся к легкой категории тяжести.

Оптимальный микроклимат в помещении оператора поддерживается с помощью принудительной вентиляции и кондиционирования, а так же отопления согласно [20-22].

В таблице 16 приведены параметры микроклимата на рабочем месте оператора

Таблица 16-Категории работ оператора

Период года	Категория работ	t допустимая на постоянных рабочих местах	С оптимальная	Влажность %		Скорость движения воздуха м/с	
				Опт	Доп	Опт.	Доп.
Холодный	Легкая-2а	25-21	22-24	40-60	75	0.1	<0.1
Теплый	Легкая-2а	28-22	23-25	40-60	55	0.1	0.1-0.2

Пыль доменного цеха в основном составляет графитная пыль. Размер пыли колеблется в широких пределах: крупные фракции быстро оседают, а мелкие длительное время находятся в воздухе и отрицательно влияют на организм человека. Для борьбы с пылью используют различные средства:

- а) различного рода фильтры;
- б) оросители и пылесосы.

Одним из наиболее совершенных способов очистки промышленных газов от пыли и жидких частиц является очистка в электрофильтрах, они оказывают малое гидравлическое сопротивление потоку газа, обеспечивают степень очистки от 99%, пригодны для использования в различных условиях, в том числе при высокой температуре и для химически активных газов. В таблице 17 приведены технические показатели промышленных фильтров.

Таблица 17-Технические показатели промышленных фильтров

Показатель	УГ1	УГ2	УГ3	Мокрые
Площадь активного сечения, м ²	10-15	26-74	88-265	8-20
Площадь охлаждения, м ²	420-633	950-6291	9900-36900	22,5-1030
Общая длина коронирующих электродов, м	1Д2-	4,53-16,9	25,4-101	0,29-14,2
Предельная температура, °С	1,68 250	250	250	35

В системе аспирации литейных дворов доменных печей для утилизации пыли работают батарейные циклоны, находящиеся на ЦВС, соединенной с доменными печами трубопроводами.

В циклонах пыль осаживается, затем оператор ссыпает ее при помощи открытия задвижек бункеров в отходную трубу, соединенную со всеми бункерами. По этой трубе пыль высыпается и при помощи автотранспорта поступает на отвал.

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей

зоны: оксид углерода - 20мг/м³;

пыль (графитная, коксовая, каменноугольная) - бмг/м .

- Для предотвращения влияния вредных веществ на организм человека

применяется дистанционное управление технологическим процессом.

Освещение

Нормальная освещенность рабочего места зависит от характера работ и составляет согласно [23] для помещения оператора 400лк, для общего освещения 50лк.

Основные требования к производственному освещению:

- 1) необходимо обеспечить достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности, а так же в пределах окружающего пространства;
- 2) на рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени;
- 3) в поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная блескость;
- 4) величина освещенности должна быть постоянной во времени;
- 5) следует выбирать необходимый спектральный состав света;
- 6) все элементы осветительных установок - светильники (ОД-2-80), групповые щитки, понижающие трансформаторы, осветительные сети должны быть долговечными, электробезопасными, а так же не должны быть причиной возникновения пожара или взрыва;
- 7) установка должна быть удобной и простой в эксплуатации, отвечать требованиям эстетики.

Расчет искусственного освещения помещения оператора

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности. Сохранность зрения человека, состояния его центральной нервной системы и безопасность труда в значительной мере зависят от освещенности.

Помещение, по возможности, должно освещаться естественным светом, так как он оказывает благоприятное влияние на психику. Если естественного

освещения не достаточно, то необходимо применять искусственное освещение от различных светильников [24].

Исходными данными для расчета являются: ширина помещения 1 Ом; длина помещения 6м; высота помещения 7м;

в помещении установлены светильники типа ОД-2-80; напряжение сети 220В.

Высоту подвеса светильника принимаем равной $h_c=1$ м. Тогда высота подвеса светильника h над рабочей поверхностью равна $h=N-h_c-h_p=7-1-1=5$ м [$N=7$ м - высота помещения; $h_p=1$ м - высота рабочей поверхности].

Эскиз расположения светильников по высоте помещения в соответствии с полученными данными приведен на рисунке 24.

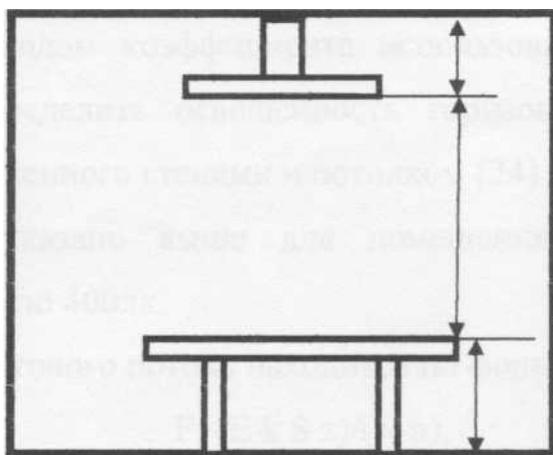


Рисунок 24 - Размещение светильников по высоте помещения

Произведем разметку расположения светильников. Определим наиболее выгодное положение светильников, по[24]

$$L/h=1.4$$

Тогда

$$L=1.4h=1.4 \cdot 5=7\text{м}$$

Чертим план помещения и производим на нем расстановку светильников (рисунок 22). Рекомендуемое расстояние от светильника до ближайших стен 1.5м.

В результате разметки установили, что для освещения данного помещения необходимо установить 12 светильников.

Мощность ламп определим методом коэффициента использования. По этому методу величина светового потока определяется с учетом света, отраженного стенами и потолком.

Для того чтобы определить величину коэффициента использования η необходимо найти индекс помещения i по формуле

$$i = S / (A + B)h,$$

Коэффициенты отражения стен и потолка находят из таблицы 13 [24] и равны $\rho_c = 50$, $\rho_n = 30$. Тогда по таблице 15 для принятых значений коэффициентов ρ_c и ρ_n и найденного индекса помещения i определяем значение коэффициента использования η

$$\eta = 40\%.$$

Для расчета искусственного освещения в помещении оператора воспользуемся методом коэффициента использования. Применяя данный метод, можно определить освещенность горизонтальной поверхности с учетом света, отраженного стенами и потолком [24].

Как было указано выше для помещения оператора принимаем освещенность равную 400лк.

Величина светового потока находится по формуле [24]:

$$F = (E_k S z) / (\eta N),$$
 где F - поток каждой из ламп в лм;

E — минимальная освещенность в ж; k - коэффициент запаса;

S - площадь помещения в m^2 ;

N - число светильников;

η - коэффициент использования светового потока /в долях единицы/, то есть отношение потока, падающего на расчетную поверхность к суммарному потоку всех ламп;

z — отношение средней освещенности к минимальной.

Для люминесцентных ламп принимаем коэффициент запаса равным $k=1.5$, а отношение средней освещенности к минимальной $z=1.15$.

Определяем площадь помещения

$$S=A \cdot B = 10 \cdot 6 = 60 \text{ м}^2.$$

Воспользовавшись формулой (4.2), найдем величину светового потока. При этом надо учитывать, что в одном светильнике устанавливается две лампы. Значит световой поток будет в два раза больше.

$$F = (E_k S z) / (2 - N - n) = (400 \cdot 1.5 \cdot 60 \cdot 1.15) / (2 \cdot 120.4) = 4313 \text{ лм}.$$

По полученному потоку по таблице 1 [24] подбираем мощность лампы для работы на напряжение 220В. Наиболее подходящей лампой является лампа типа ЛБ мощностью 80Вт и величиной светового потока равным 4320лм.

Помимо выше перечисленных опасных факторов на рабочем месте оператора действует еще один -излучение терминалом компьютера. Поэтому на рабочем месте оператора за пультом ПЭВМ необходимо соблюдать следующие требования безопасности: терминал компьютера должен

находиться от оператора на расстоянии не менее 0.5м, причем на мониторе обязательно присутствие защитного фильтра от излучающего воздействия.

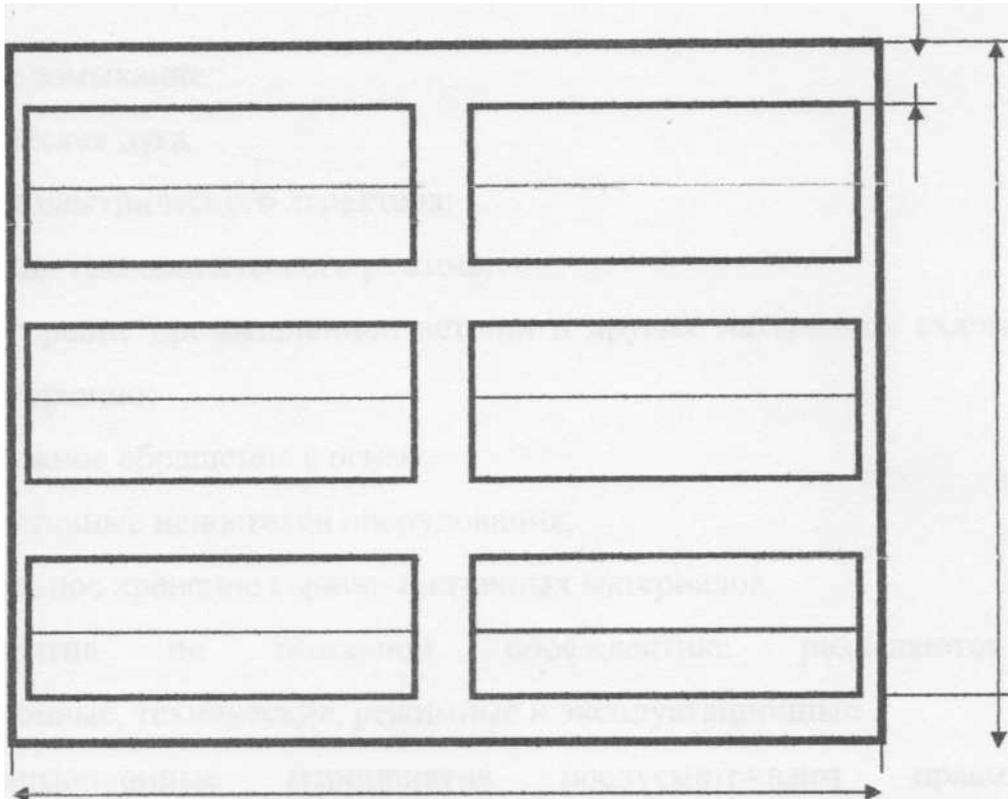


Рисунок 25 - План расположения светильников в помещении оператора

4.4 Пожарная безопасность

Предприятия черной металлургии нередко отличаются повышенной пожарной опасностью, так как их характеризует сложность производственных установок, значительное количество легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, сжиженных горючих газов, твердых сгораемых материалов. Большая оснащенность электроустановками, а так же работа с расплавленными металлами.

Согласно [4] помещение электрооборудования, оператора и машинный зал по пожароопасности относятся к зоне класса П-П а - помещения, в которых обращаются твердые горючие вещества.

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

Причинами электрического характера являются:

- a) искрение;
- b) перегрузки и большие переходы сопротивления;
- c) короткое замыкание;
электрическая дуга.

Причины неэлектрического характера:

- a) нарушение технологического режима;
- b) самовозгорание промышленной ветоши и других материалов склонных к самовозгоранию;
- c) неосторожное обращение с огнем;
- d) конструктивные недостатки оборудования;
- e) неправильное хранение горюче-смазочных материалов.

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

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутризаводского транспорта, правильное содержание зданий, территории, 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 соблюдения противопожарных правил, норм при проектировании, при переустройстве электроприводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования и обеспечение пожарным инвентарем, который включает:

- сухой песок в ящиках;
- лопаты;
 - огнетушители ОУ-5, ОУ-8 (углекислотные), ОП-8У (порошковые), согласно ТУ-22-4720-80.

На рисунке 26 приведен план эвакуации рабочего персонала скиповой лебедки С 1-22,5-210 в случае возникновения пожара.

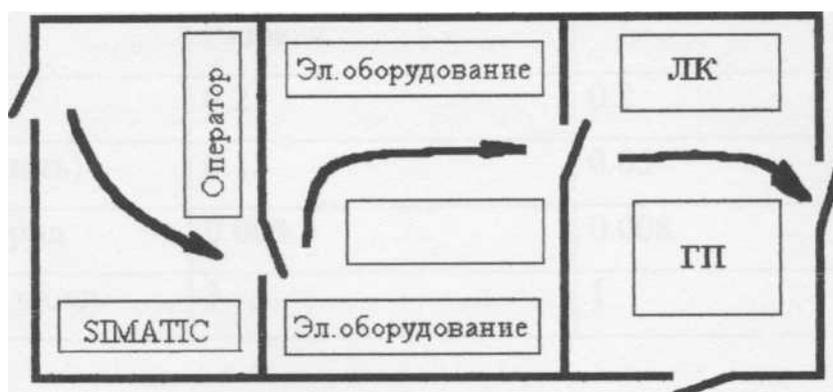


Рисунок 26 - План эвакуации рабочего персонала ЛК-70 в случае пожара

4.5 Охрана окружающей среды

Западно-Сибирский металлургический комбинат является крупнейшим предприятием черной металлургии в России. Поэтому для его нормального функционирования необходимо проводить мероприятия по защите воздушного и водного бассейна в г.Новокузнецк.

Накопление вредных веществ в окружающей среде оказывает влияние как на растительный и животный мир, так и на человека и приводит к нарушению нормальных жизненных условий. Технологический процесс производства черных металлов сопровождается образованием большего

количества различных газов, пыли, сажи, загрязняющих атмосферу. Для того чтобы избежать этого на комбинате производят очистку выбрасываемых в атмосферу газов и пыли с помощью электрофильтров. ПДК вредных веществ регламентируется [18]. Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов приведены в таблице 18

Таблица 18 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ

Вещества	Предельно допустимые концентрации в мг /	
	Максимальная Разовая	Среднесуточная
1. Аммиак	0.2	0.2
2. Сажа (копоть)	0.15	0.05
3. Сероводород	0.008	0.008
4. Углерода окись	3	1

На предприятиях черной металлургии водоснабжение достигает больших объемов. Для очистки сточных вод используются методы отстаивания, фильтрования, нейтрализации, озонирования и т.д. Содержание загрязняющих веществ составляет на окончательном этапе 500-5000 мг/л и является не агрессивным. Помимо очистки, сточные воды подвергаются охлаждению и перед спуском в р.Томь и перед повторным использованием в производственных нуждах. Использование воды регламентируется [25].

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 активно их устранить.

Защита окружающей среды на современном этапе, помимо экономической задачи повышения общественной производительности труда, включает так же и социальную задачу - улучшение условий жизни человека, сохранение его здоровья. Понятие эффективности в этом случае включает в себя не только технико-экономическую эффективность, но и социальную и экологическую в масштабе народного хозяйства данного региона и страны в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте был разработан и спроектирован электропривод главного скипового подъёмника доменной печи на основе устройства преобразования тока SIMOREG- K.

В ходе проектирования были рассчитаны параметры силовой цепи привода, произведён расчёт регулировочных характеристик преобразователя, параметров оптимальной настройки и логарифмических амплитудно- частотных и фазочастотных характеристик электропривода. Также был произведён расчёт переходных характеристик САУ РЭП методом математического моделирования и определены показатели качества, которые полностью удовлетворяют требованиям технического задания.

В организационно-экономическом разделе были рассмотрены мероприятия (пуско-наладочные работы), необходимые для введения в эксплуатацию электропривода главного скипового подъёмника доменной печи и рассчитаны затраты на проведение этих работ.

В разделе "Безопасность и экологичность" проекта были оценены опасные и вредные факторы, действующие в доменном цехе, рассмотрены вопросы охраны труда, окружающей среды и произведён расчёт искусственного освещения в помещении оператора

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте был разработан и спроектирован электропривод главного скипового подъёмника доменной печи на основе устройства преобразования тока SIMOREG- K.

В ходе проектирования были рассчитаны параметры силовой цепи привода, произведён расчёт регулировочных характеристик преобразователя, параметров оптимальной настройки и логарифмических амплитудно- частотных и фазочастотных характеристик электропривода. Также был произведён расчёт переходных характеристик САУ РЭП методом математического моделирования и определены показатели качества, которые полностью удовлетворяют требованиям технического задания.

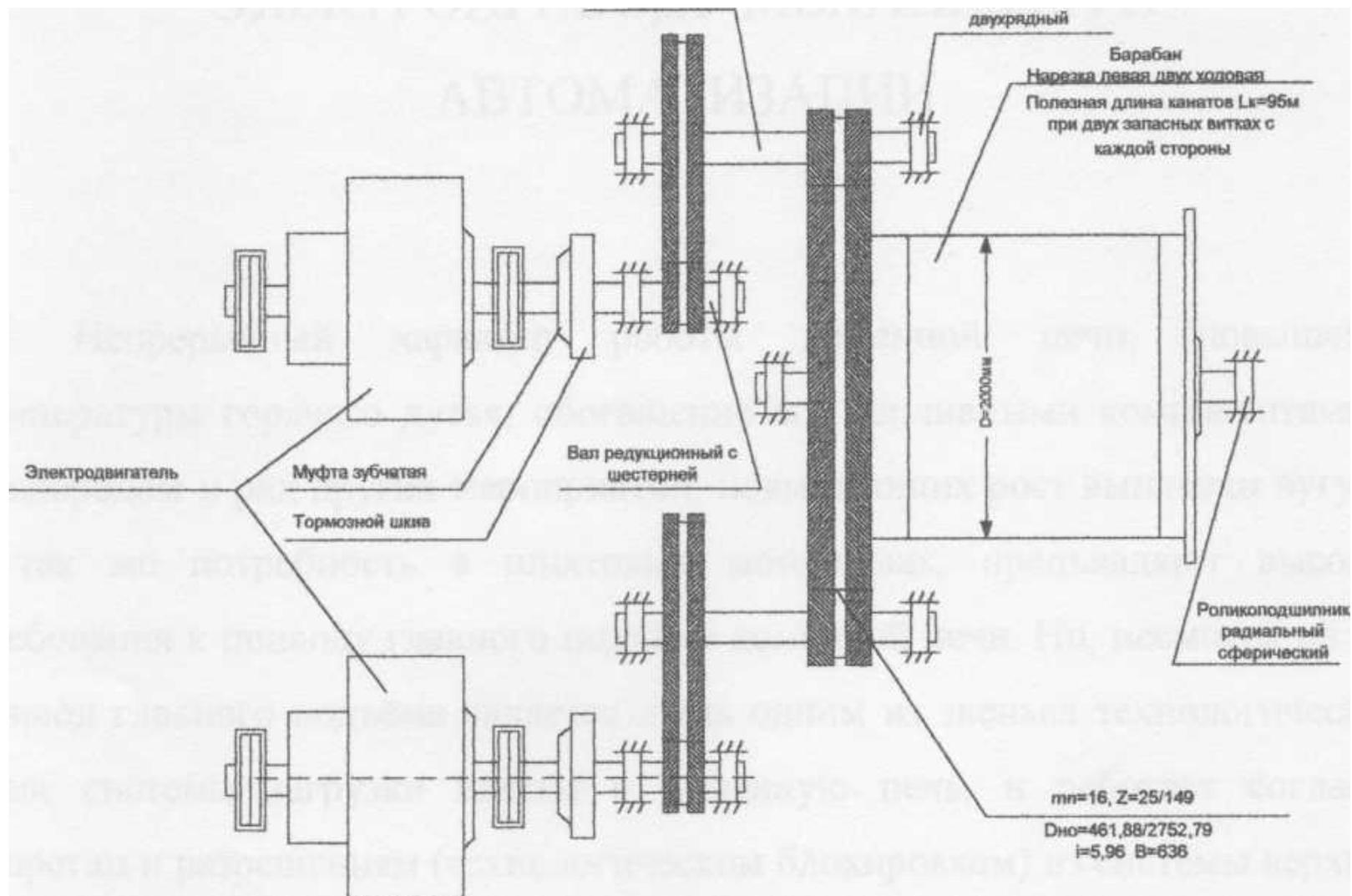
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ

1. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В.И.Круповича, Ю.Г.Барыбина, М.Л.Самовера. — 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1982. - 416 с.
2. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / Под ред. М.Г.Зименкова, Г.В.Розенберга, Е.М.Феськова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 480с.
3. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В.. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Учебное пособие. -Томск: Изд. ТПУ, 1999. -144с.
4. Б.А.Левитанский, Электрооборудование предприятий чёрной металлургии. Металлургиздат, 1955г.
5. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / Под ред. канд. техн. Наук В.М. Перельмутера. - М.; Энергоатомиздат, 1988. 319с.
6. ГОСТ 27242 - 87. Вибрация. Виброизоляция. Общие требования безопасности.
7. ГОСТ 12.1.012 - 90. Вибрационная безопасность.
8. ГОСТ 12.1.003 - 83. Шум. Общие требования безопасности.
9. СН 12.1.005 - 88. Санитарные нормы промышленных предприятий. Ю.ГОСТ 12.1.005 - 88. Общие санитарно - гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- П.СниП 2.04.05 - 91. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
- 12.СниП 2.04.03 - 85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
- П.СниП 2.04.01 - 85. Внутренний водопровод и канализация зданий. М.СниП 23 - 05 - 95. Нормы освещенности производственных помещений.
- 15.СниП 2.04.02 - 84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
- 16.ГОСТ 2.755 - 87. УГО в электрических схемах.
- 17.ГОСТ 2.710 - 81. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах

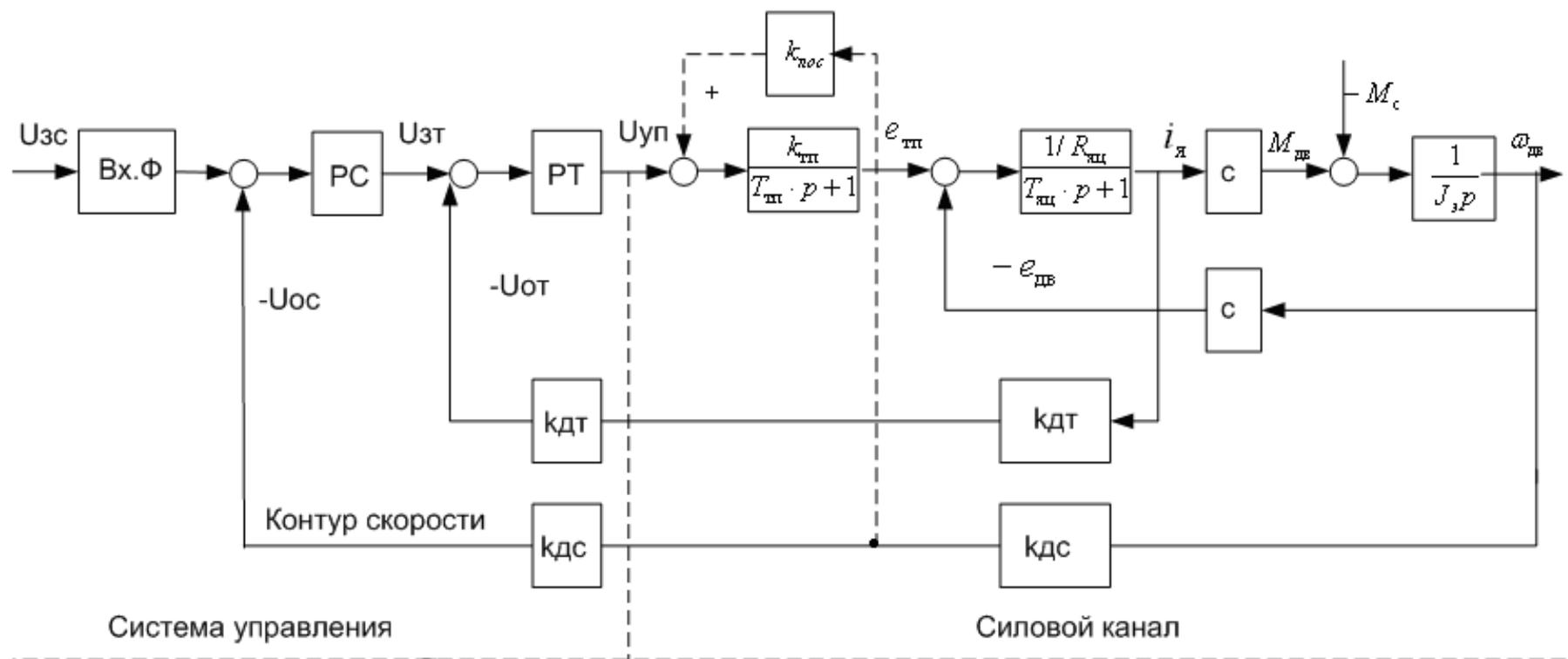
18. Методические указания “Базовые структуры ЭП и методы их оптимизации”.
19. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.
20. ГОСТ 25861-83. Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования по электрической и механической безопасности и методы испытаний.
21. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление .
22. Правила устройства электроустановок/ Минэнерго СССР — М.: Энергоатомиздат, 1985-640с.
ГОСТ 14254-80. Изделия электротехнические. Оболочки. Степени защиты. Обозначения. Методы испытаний.
23. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
- 24 Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
- 25 Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
- 26 Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
- 27 Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа // http://market.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html.
- 28 Креницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: Учебное пособие /З.В.Креницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.
- 29 Креницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень графического материала.



Кинематическая схема механизма лебёдки скипов типа ЛС 1-22,5- 210



Структурная схема линейризованной САУ РЭП

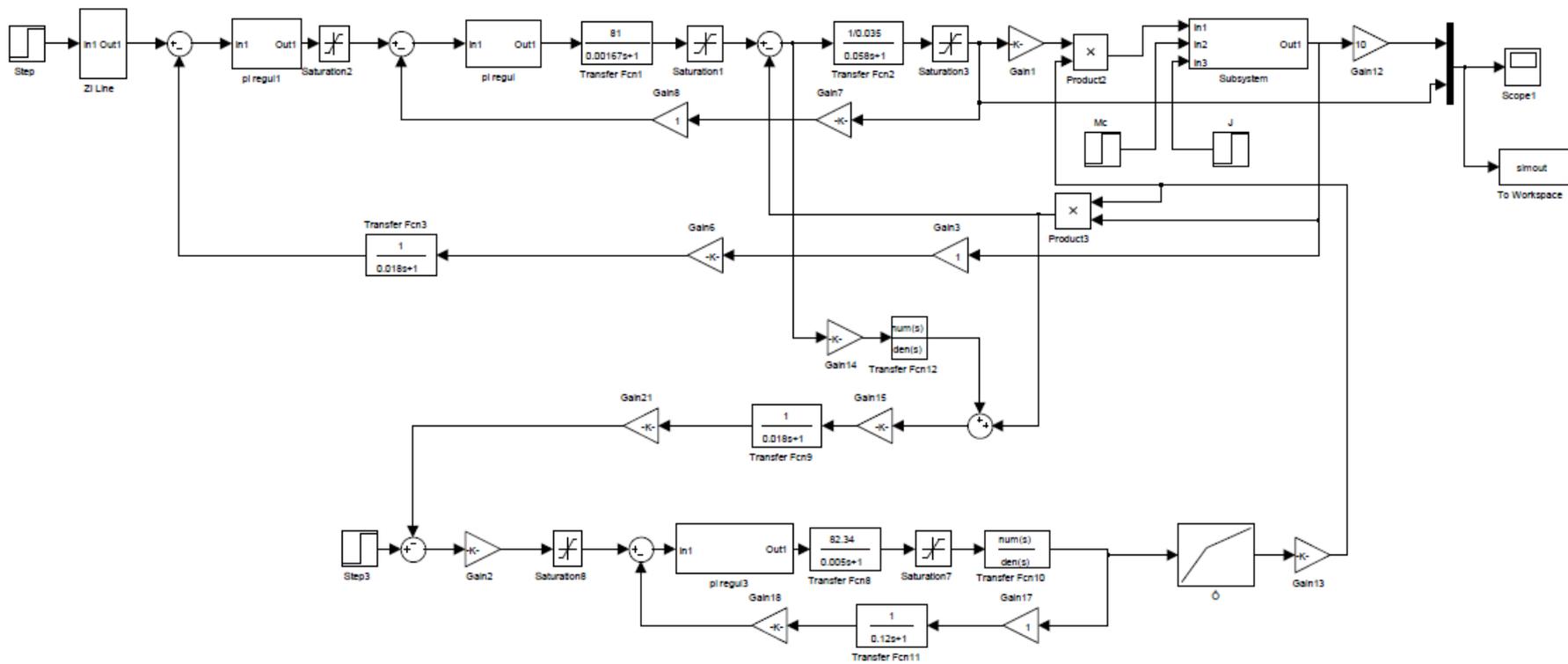
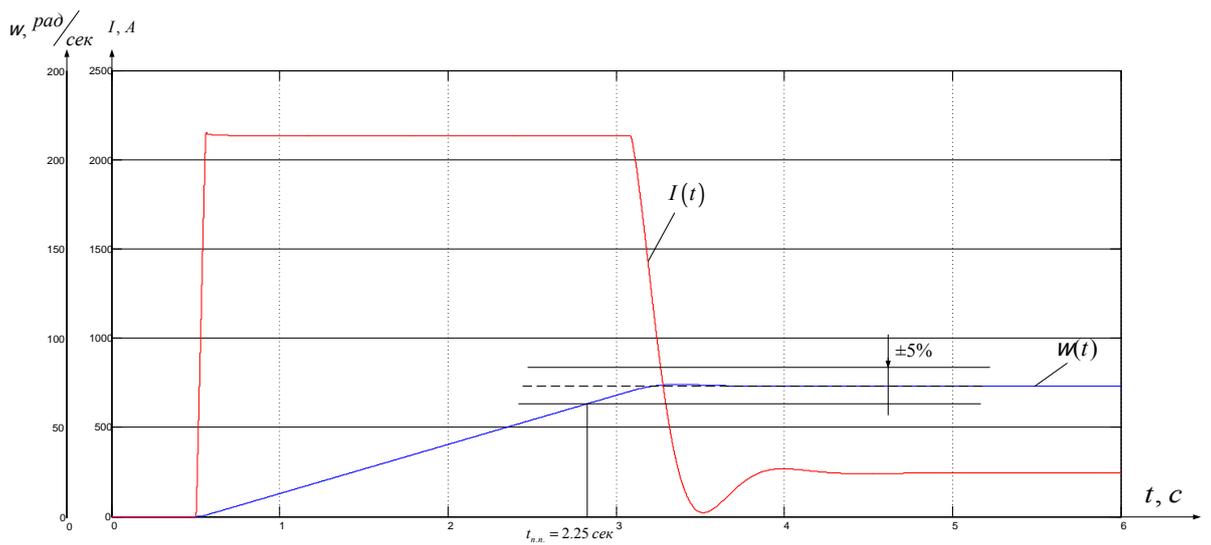
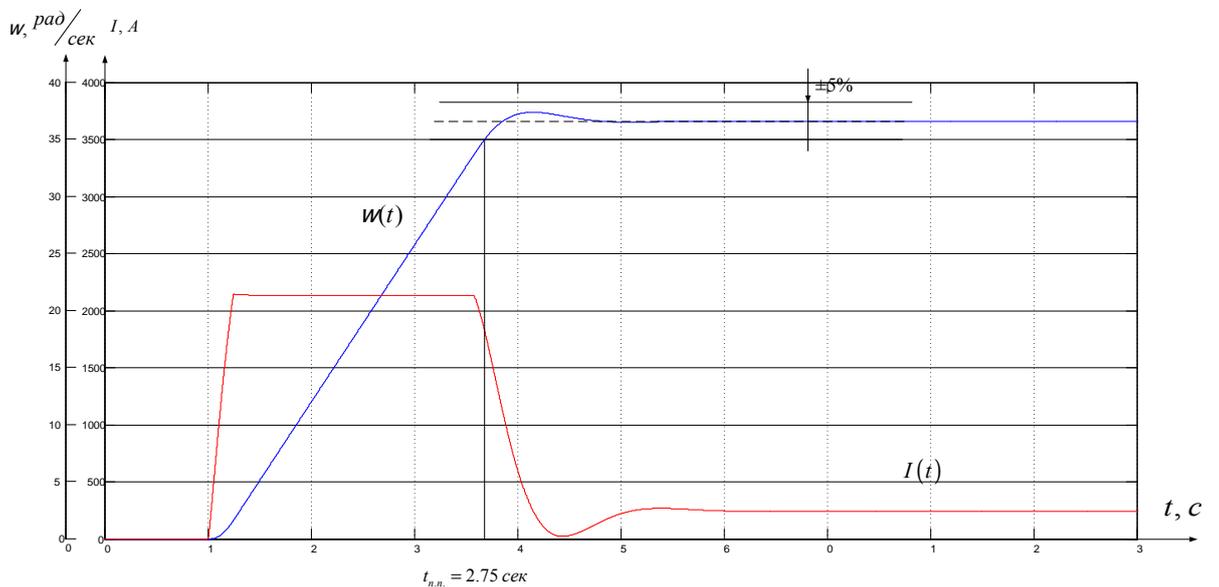


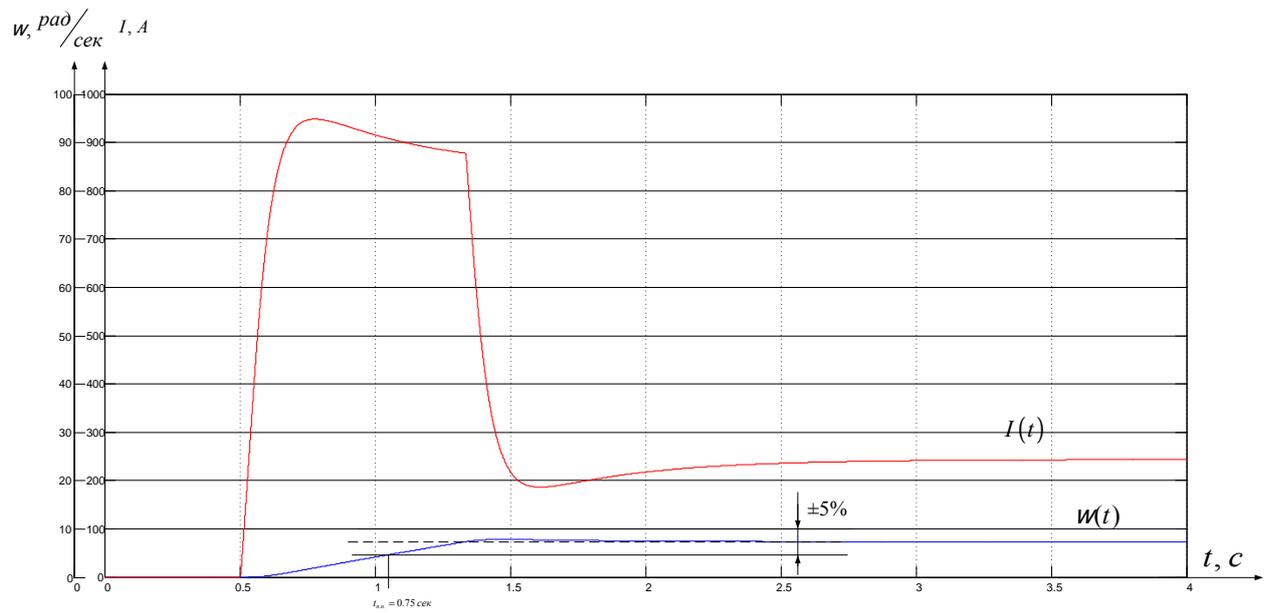
Схема набора модели в программе Matlab.



Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 10В.
 $M_c = 1453 \text{ Н*м}$, $I_{\text{баз}} = 2150 \text{ А}$, $\omega_{\text{баз}} = 73,2 \text{ рад/с}$.



Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 5В.
 $M_c = 1453 \text{ Н*м}$, $I_{\text{баз}} = 2150 \text{ А}$, $\omega_{\text{баз}} = 36,6 \text{ рад/с}$.



Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 1В.

$M_c = 1453 \text{ Н*м}$, $I_{\text{баз}} = 750 \text{ А}$, $\omega_{\text{баз}} = 7.32 \text{ рад/с}$.

Диаграмма Ганта

Этап работы	Вид работ	Исполнители *	Продолжительность одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ по декадам											
				Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Составление технического задания	Р	1	-											
2	Изучение технической литературы	Д	22		—————										
3	Сбор необходимых данных по проекту	Д	16				—————								
4	Ввод данных в среду разработки MATLAB	Д	1												
		Р	1												
5	Расчет в среде MATLAB нагрузок привода	Д	1												
		Р	1												
6	Выбор электрооборудования	Д	15						—————						
7	Расчет элементов электропривода	Д	1												
		Р	1												
8	Проверка выбора электрооборудования	Д	12								—————				
		Р	1												
9	Оформление расчётно-пояснительной записки	Д	16									—————			
10	Сдача проекта	Д	6											—————	
		Р	1												

* - условное обозначение исполнителей: Р – руководитель; Д – дипломник.

